

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návrh technologie výroby plechu rotoru a statoru  
indukčního snímače polohy vystřihováním  
a zakružováním

***Project of Production Technology of Rotor and Stator  
Sheet-metal of Inductance Position Sensor  
by Blanking and with the Use of Bending Rolls***

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Student:

Bc. Jan Zlámalík

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Zlámalík**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Návrh technologie výroby plechu rotoru a statoru indukčního snímače polohy vystřihováním a zakružováním**  
**Project of Production Technology of Rotor and Stator Sheet-metal of Inductance Position Sensor by Blanking and with the Use of Bending Rolls**

Zásady pro vypracování:

1. Popište stávající technologii výroby plechových součástí rotoru a statoru indukčního snímače polohy, která se používá v podniku TES VSETÍN, a. s., účel součástí a používaný materiál.
2. Rozeberte možné způsoby výroby zadaných plechových součástí ze svitků plechu a na základě porovnání těchto způsobů navrhnete pro podnik ekonomicky výhodný technologický postup výroby zadaných součástí v potřebném počtu kusů za rok, potřebné nástroje a stroje.
3. Navrhnete konstrukční řešení střížných nástrojů, které zabezpečí jejich co nejvyšší životnost. Rozeberte přesnost výstřížků a její souvislost s přesností střížných nástrojů. Navrhnete u linky řešení pro snadný transport hotových výstřížků do další operace.
4. Pro vystřihování zadaných plechových součástí pro indukční snímače polohy navrhnete racionální nástřihový plán z pásu plechu a vypočtete součinitel využití materiálu. Srovnajte navržený nástřihový plán se stávajícím a vyhodnoťte případnou úsporu materiálu.
5. Navrhnete konstrukční řešení nástrojů pro zakružování plechu, které zabezpečí dosažení tvaru plechové součásti dle výrobního výkresu s předepsanou přesností.
6. Proveďte rámcové ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby plechu rotoru a statoru indukčního snímače polohy a její porovnání se stávající technologií výroby v podniku TES VSETÍN, a. s.

Seznam doporučené odborné literatury:

*ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.* Praha : Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

*ČSN ISO 5966 Dokumentace. Formální úprava vědeckých a technických zpráv.* Praha : Český normalizační institut, leden 1996. 31 s.

*ČSN ISO 7144 Dokumentace. Formální úprava disertací a podobných dokumentů.* Praha : Český normalizační institut, březen 1997. 21 s.

ČSN ISO 31-0 Veličiny a jednotky. Část 0: Všeobecné zásady. Praha : Český normalizační institut, prosinec 1994. 24 s.

ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

PETRUŽELKA, J. Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci [online]. Ostrava : VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.

ČADA, R. Tvářitelnost ocelových plechů : odborná knižní monografie. Lektorovali: L. Pollák a P. Rumišek. 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Radek Čada, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011


  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 23. května 2011

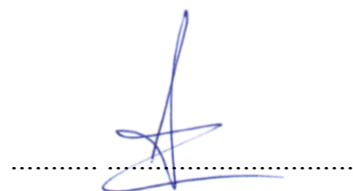


Bc. Jan Zlámalík

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 23. května 2011



Bc. Jan Zlámalík

Zelená 1505, 755 01 Vsetín

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Radku Čadovi, CSc. z Katedry mechanické technologie Fakulty strojní VŠB - TU Ostrava za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vyšší úrovni zpracování této diplomové práce. Dále děkuji firmě TES VSETÍN, a. s., za poskytnuté informace a konzultace, konkrétně panu Ing. Ondřeji Vrábelovi a panu Bc. Zdeňku Pfeilerovi. V neposlední řadě bych rád poděkoval také mým váženým rodičům, kteří mě po celou dobu studia jak psychicky, tak materiálně podporovali.

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zlámalík, J. *Návrh technologie výroby plechu rotoru a statoru indukčního snímače polohy vystřihováním a zakružováním*, Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie – 345, 2011. 86 s. Diplomová práce, vedoucí: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

V diplomové práci byla rozebrána stávající technologie výroby plechů rotorů a statorů indukčního snímače polohy, možné nové způsoby výroby těchto plechů a dále byl navržen ekonomicky výhodný technologický postup výroby. V práci bylo provedeno rámcové ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby plechů statorů a rotorů indukčního snímače polohy.

Cílem diplomové práce bylo navržení racionalizace technologie výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy. Tohoto zefektivnění bylo dosaženo návrhem výrobní linky pro stříhání a zakružování plechů, ze kterých jsou následně vyráběny statorové a rotorové celky indukčního snímače polohy. V diplomové práci jsou také rozebrány možnosti střížných nástrojů s tím, aby bylo dosaženo jejich co nejvyšší životnosti. Dále byl navržen i nový, racionální nástřihový plán.

## ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

Zlámalič, J. *Project of Production Technology of Rotor and Stator Sheet-metal of Inductance Position Sensor by Blanking with the Use of Bending Rolls*, Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology – 345, 2011. 86 s.  
Diploma Thesis head: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

The current production technology of rotor and stator metal plates of inductive position sensor and possible new ways of producing these metal plates were discussed in this Diploma Thesis. Furthermore a new cost-effective technological process of production was designed. The work also carried out a general economic evaluation of the suggested production technology of stator and rotor metal plates of inductive position sensors.

The aim of this Diploma Thesis was to propose a rationalization of the production technology of stator and rotor metal plates of inductive position sensors. This efficiency was achieved by designing the production line for blanking and bending rolls of metal plates from which subsequently are produced the stator and rotor units of inductive position sensors. This thesis also discussed the possibilities of cutting tools with the purpose of achieving the maximum service life. A new and rational notching plan was also designed.



## Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Strojní výroba ve firmě TES VSETÍN, a. s.....</b>	<b>2</b>
1.2 Princip, popis a využití indukčního snímače polohy .....	4
1.2.1 Popis rotoru indukčního snímače polohy .....	7
1.2.2 Popis statoru indukčního snímače polohy .....	8
1.3 Materiál pro výrobu indukčního snímače polohy .....	9
1.3.1 Vlastnosti plechů pro elektrotechniku .....	10
1.3.2 Druhy plechů pro elektrotechniku .....	10
1.3.3 Navrhovaný materiál pro vystřihování statorových a rotorových plechů .....	14
1.4 Současná technologie výroby plechů rotoru a statoru indukčního snímače polohy ve společnosti TES VSETÍN, a. s. ....	16
<b>2 Návrh ekonomicky výhodného technologického postupu výroby plechů statoru a rotoru indukčního snímače polohy vystřihováním a zakružováním .....</b>	<b>25</b>
2.1 Rozbor možných technologií výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy vystřihováním .....	26
2.1.1 Návrh efektivní technologie vystřihování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy .....	30
2.2 Rozbor technologie zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy .....	31
2.2.1 Návrh vhodné technologie zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy .....	33
2.3 Návrh sestavení efektivní linky na stříhání a stáčení rotorových a statorových celků indukčního snímače polohy .....	34
2.3.1 Popis funkce výrobní linky statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy .....	36
2.3.2 Volba technologických částí linky pro stříhání a zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy .....	36
<b>3 Konstrukční řešení střížného nástroje .....</b>	<b>49</b>
3.1 Návrh na zvýšení životnosti střížných nožů .....	51
3.1.1 Materiály střížných nástrojů .....	54
3.1.1.1 Chromová ocel dle ČSN 19 436 (X210Cr12 EN 96-79) .....	54
3.1.1.2 Rychlořezná ocel dle ČSN 19 830 (HS 6-5-2 EN 96-79) .....	55
3.1.1.3 Produkt práškové metalurgie Vanadis 10 .....	56
3.1.2 Vyhodnocení životnosti navrhovaných materiálů .....	56

3.1.2 Návrh materiálu střížných nožů za účelem zvýšení jejich životnosti .....	58
3.2 Přesnost stříhu pásu plechu indukčního snímače polohy .....	59
3.3 Návrh transportu statorových a rotorových celků pro další operaci .....	60
<b>4 Návrh racionálního nástřihového plánu .....</b>	<b>62</b>
4.1 Nástřihový plán stávající technologie .....	62
4.2 Návrh racionálního nástřihového plánu nově navrhované technologie .....	67
4.3 Vyhodnocení navrhovaného nástřihového plánu .....	68
<b>5 Konstrukční řešení zakružovačky .....</b>	<b>69</b>
<b>6 Rámcové ekonomické zhodnocení .....</b>	<b>70</b>
6.1 Ekonomické vyhodnocení stávající technologie .....	71
6.2 Ekonomické vyhodnocení nově navrhované technologie výroby .....	74
6.3 Rámcové ekonomické porovnání stávající a nově navrhované technologie výroby .....	77
<b>7 Závěr.....</b>	<b>79</b>
<b>8 Seznam použité literatury.....</b>	<b>83</b>
<b>9 Seznam příloh .....</b>	<b>86</b>
<b>Seznam použitých značek a symbolů</b>	

## Úvod

Ve všech technicky vyspělých zemích je zřejmý prudký rozvoj automatizace, která sahá svými počátky až do čtvrté technické a výrobní etapy. Automatizací, postupem času, prorostla kybernetika, s jejímž přispěním se začínají vytvářet systémy pro řízení složitých technických a strojových soustav. Postupnou evolucí automatizační mechanizace člověk začal využívat přírodní energii a zdokonaloval průběh pracovních operací. Současně však také vytvářel dílčí podmínky pro nahrazení lidské práce stroji, a to i při řízení výrobních procesů. Automatizace výrobních procesů je podmíněna a zároveň i vynucena technickým, ale i společenským pokrokem.

Určitá část automatizace se uplatnila i v odvětví snímání a určování polohy natočení různých rotujících mechanických částí strojů. K snímání natočení (úhlu) slouží čidla polohy. Ta jsou používána v mnoha etapách výrobních procesů. Bezchybné řízení automatizovaných systémů vyžaduje mít k dispozici dostatek dat (informací) o řízeném členu. Proto je nutné získat potřebná data (informace), která je nutno vhodně zpracovat a použít ve výkonových členech elektrických pohonů, popřípadě v dalších zařízeních.

Diplomová práce je zaměřena na inovaci výroby statorových a rotorových částí indukčního snímače polohy, které se uplatňují právě při výše zmiňované automatizaci výrobních procesů. Autor ve své práci rozebírá možnost zefektivnění výroby těchto přístrojů ve firmě TES VSETÍN, a. s., a navrhuje i konkrétní řešení nové výrobní technologie.

## **1 Strojní výroba ve firmě TES VSETÍN, a. s.**

TES VSETÍN, a. s., je firmou s dlouholetou tradicí, jejíž vznik se datuje k roku 1919, kdy byla založena Josefem Sousedíkem jako Elektrotechnická továrna, jež se stala předchůdcem dnešní společnosti. Tehdejší výrobní program tvořily především asynchronní motory. Zakladatel firmy přihlásil 54 patentů v oborech elektrických přístrojů, pohonů, elektrické trakce i automatické regulace. Po roce 1945 dochází k rychlému rozvoji firmy pod značkou MEZ Vsetín, s. p. Výrobní program byl rozšířen o komutátorové motory a zkušební stanoviště pro měření výkonu a otáček, později i o kompletní pohony se stejnosměrnými motory. Podnik byl v té době orientován na trhy Rady vzájemné hospodářské pomoci (RVHP) a patřil k nejvýznamnějším českým exportérům [1].

Po roce 1989 byl tradiční výrobní sortiment stejnosměrných motorů doplněn o synchronní a asynchronní generátory, asynchronní motory pro těžký průmysl a velké stroje s permanentními magnety [1].

V roce 1995 dochází k privatizaci firmy MEZ Vsetín, s. p., společností TES VSETÍN, s. r. o., a v r. 2008 se majoritním vlastníkem stává česko-slovenská investiční společnost PENTA INVESTMENTS LIMITED. K 1. 8. 2009 se mění právní forma společnosti na akciovou společnost [1].

Základem úspěchu společnosti TES VSETÍN, a. s., je široce rozvinutá technologická základna – lisovna, nástrojárna, svařovna, obrobna, elektrotechnologie a vlastní výzkum a vývoj v oboru elektrických strojů. Společnost poskytuje komplexní řešení při výrobě či spotřebě elektrické energie. Zdrojem rozvoje firmy je tradice, komplexní technologie, vyspělé know-how, inovace a důsledné řízení procesů [1].

Firma TES VSETÍN, a. s., patří mezi specialisty řešení potřeb na míru, od kusových dodávek po sériovou výrobu, nabízí unikátní a produktivní výrobní základnu. Je flexibilním dodavatelem s vysokou přidanou hodnotou a kvalitou výrobků i služeb za rozumnou cenu. V současné době se firma řadí mezi největší dodavatele nejvýznamnějších světových firem v oboru. Svou produkcí směřuje převážně na export, a to do zemí Evropské unie, Evropského sdružení volného obchodu (ESVO), Ruska, USA, Turecka, Thajska atd. [1].

Společnost TES VSETÍN, a. s., se v současné době zabývá výrobou strojních částí a celků v těchto segmentech:

- zelená energie - generátory, komponenty, opravy a servis pro větrné a vodní elektrárny nebo kogenerace;
- nezelená energie - generátory a komponenty pro dieselsety, záložní zdroje;
- válcovny a hutě - motory a pohony;
- elektrická trakce, lodě, doly, všeobecný průmysl - komponenty, generátory, motory, pohony;
- provedení generátorů synchronních, asynchronních, stejnosměrných i s permanentními magnety;
- servis, opravy, rekonstrukce - od instalace po záruční a pozáruční servis [1].

## **1.2 Druhy snímačů polohy a jejich rozdělení**

Regulace polohy patří k jednomu z nejrozšířenějších způsobů využití snímačů polohy. Měření otáček je v průmyslu dosti častým a nutným úkolem. Jedná se například o kontrolu úhlové rychlosti motorů, hřídelí, ozubených soukolí, generátorů a jiných rotujících částí strojních zařízení nebo měření obvodové rychlosti těchto součástí, ale také třeba rychlosti posuvu dopravního pásu nebo natočení lopatek ve strojních celcích. Například moderní obráběcí stroje pracující ve dvou, častěji však ve třech osách pohybu, využívají regulaci polohy při každém pohybu. Tento druh regulace nachází rovněž uplatnění u navíjecích strojů pro asynchronní motory.

Výše zmíněné úkoly snímání lze provádět dvěma způsoby měření, a to kontaktním měřením nebo bezkontaktním měřením:

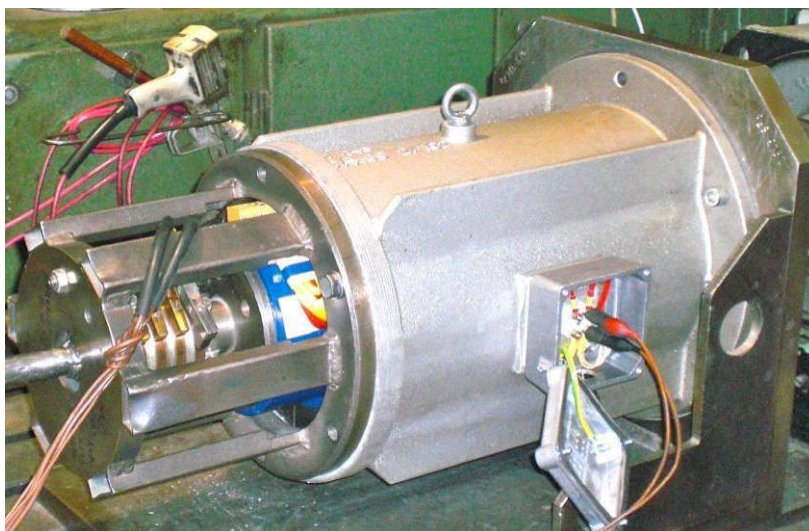
- Pro kontaktní měření otáček se v praxi používá několik typů snímačů. Tyto snímače zaznamenávají rotační pohyb hřídele nebo řemenice v její ose, kde se často využívá soustružnického vpichu. Dále jsou schopny sledovat obvodovou rychlost přiložením snímacího kolečka k obvodu kola nebo řemenice.

Ve druhém z uvedených příkladů snímání lze použít přístroj nejen pro měření obvodové rychlosti rotujících součástí, ale i pro snímání lineárního pohybu, například posuvu dopravního pásu. Tyto přístroje pro snímání pohybu jsou obvykle vybaveny různými výměnnými nástavci, které jsou upraveny pro jednotlivá měření.

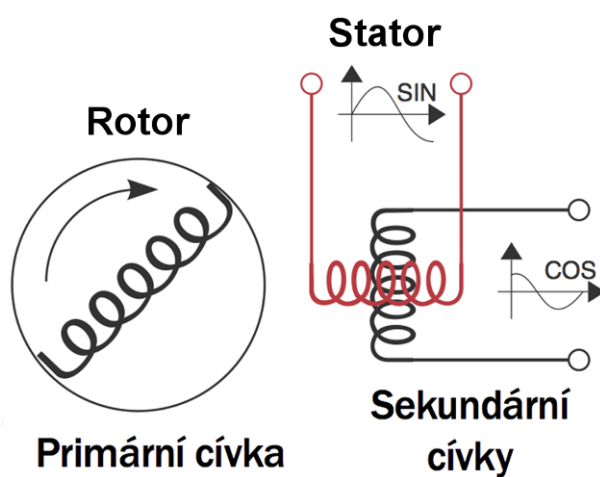
- Pro bezkontaktní měření otáček a natočení strojních součástí, např. hřídelí, ozubených soukolí, generátorů, lopatek vodních turbín a dalších strojních součástí, nevyžaduje dotyk a snímání pohybu je realizováno různými způsoby (světelným paprskem, optoelektronikou, elektromagnetickou indukcí, změnou kapacity aj.). Použití bezkontaktního měření je v řadě případů jednodušší a praktičtější, nelze ale říci, že jeho použití je vždy výhodnější. Mezi bezkontaktní měřicí zařízení patří také indukční snímač polohy, který je též v praxi označován jako resolver. V určitých případech lze tento stroj použít nejen jako snímací člen, ale také jako výkonový člen ve strojních celcích. Popis, princip a využití tohoto snímače polohy jsou popsány v následující samostatné kapitole.

## **1.2 Princip, popis a využití indukčního snímače polohy**

Indukční snímač polohy (obr. 1.1), který je v praxi označován také jako resolver, nebo jako rotační transformátor, je využíván jako měřidlo polohy, které patří mezi absolutní indukční měřidla s analogovým výstupem. Protože je jejich princip založen na elektromagnetické indukci, obsahují dva významné konstrukční prvky v podobě primárního a sekundárního vinutí. Sekundární vinutí, která se nacházejí ve statoru (viz 1.2.2), jsou vzájemně prostorově pootočená o  $90^\circ$ . Primární vinutí, které je pevně spojeno s hřídelí, jejíž polohu natočení, nebo jejíž otáčky snímá, je navinuto na rotoru (viz 1.2.1). Primární vinutí je napojeno na zdroj sinusového napětí s frekvencí cca.  $2 \div 10$  kHz. Schéma zapojení je zřejmé z obr. 1.2.



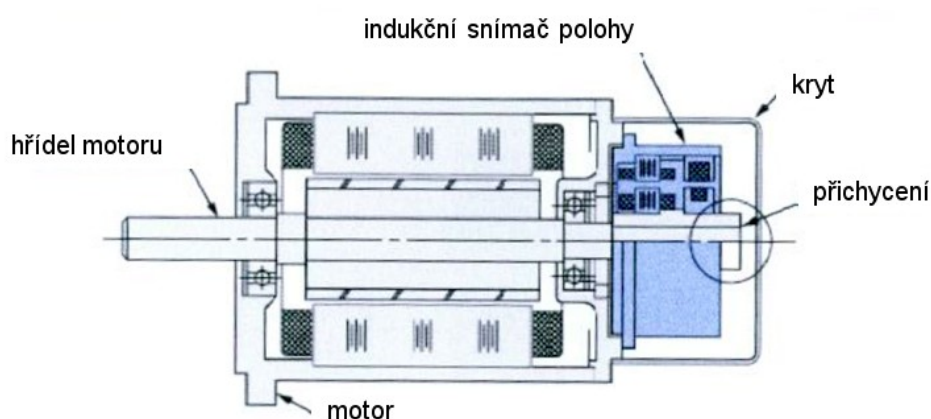
Obr. 1.1 Indukční snímač polohy



Obr. 1.2 Základní schéma elektrického zapojení  
indukčního snímače polohy

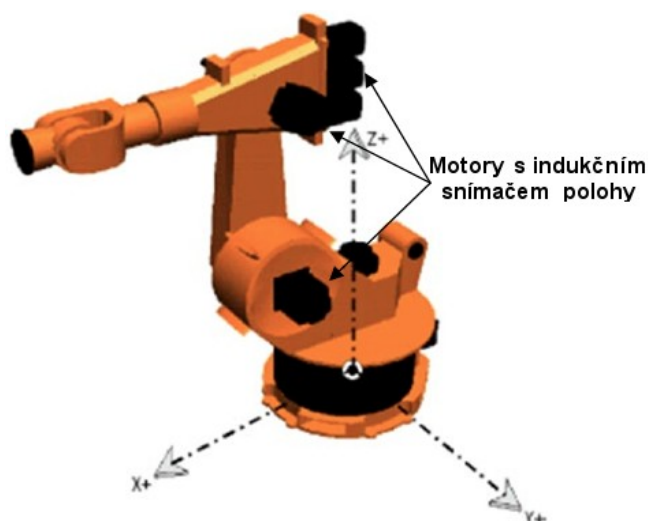
Získání informace o poloze natočení hřídele je úměrné získávání signálu, který je úměrný sinu a cosinu úhlu natočení rotoru. Každému natočení hřídele (rotoru) odpovídá jiná kombinace výstupních veličin. Se změnou úhlu natočení rotoru vůči statoru se sinusově mění způsob napájení primárního vinutí, tj. rotorového vinutí. Tato konstrukce indukčního snímače polohy je doporučována výrobcí strojů a patří proto k nejpoužívanějším.

Snímání polohy indukčními snímači polohy je v průmyslové praxi využíváno mnoho let. Tato technologie snímání úhlu natočení strojních součástí resolvery je považována za nejlepší co se týká do spolehlivosti, stability a rozlišovací schopnosti. Své velké uplatnění našly tyto snímače ve svém prvotním válečném využití, kdy byly používány ke kontrole a měření úhlů hlavní děl válečných lodí a tanků. V dnešní době nacházejí široké uplatnění v automatizovaném provozu, kde jsou použity jako snímače polohy, úhlu a otáček. Jako snímač polohy lze resolver s výhodou použít i u elektrických komutátorových motorů. Toho je v dnešní době hojně využíváno v praxi, kde jsou tyto snímače montovány přímo do motorů (viz obr. 1.3). Seskupením dvou členů, a to výkonového (elektromotoru) a snímacího indukčního stroje, je získána pohonná jednotka se zabudovaným čidlem polohy a odpadá tak montáž snímacího indukčního stroje na hřídel motoru. Velmi efektivního řešení je docíleno použitím malých motorů obsahujících indukční snímač polohy (resolver). Tyto malé motory obsahující resolvery jsou použity v automatizovaném průmyslu, např. u robotických ramen (obr. 1.4) a NC strojů.



Obr. 1.3 Spojení indukčního snímače polohy s motorem





Obr. 1.4 Příklad využití indukčního snímače polohy u robotických ramen

### 1.2.1 Popis rotoru indukčního snímače polohy

Rotor patří mezi nejdůležitější části indukčního snímače polohy. Je to část, která se mechanicky otáčí a koná rotační pohyb. Rotor (obr 1.5) má podobu válce, který je tvořen dynamo plechy pro elektrotechniku se speciálními elektromagnetickými vlastnostmi. Rotor je složen dle daných elektrických parametrů z 12 ks plechů o rozměru 170 x 438 mm, dále pak z 13 ks plechů o rozměrech 170x478 mm a následně z 1 ks plechu o rozměru 170 x 515 mm. Tyto plechy jsou jednotlivě zakruženy a následně jsou sestaveny dle technologického předpisu do spékacích přípravků (obr 1.6). Tyto přípravky jsou následně vloženy do pece, kde jsou za teploty 220 °C k sobě slepeny, čímž vznikne jednotný rotorový celek. Jednotlivé plechy jsou z jedné strany mezi sebou izolovány lakem s obchodním názvem Backlak, který umožní slepení těchto plechů k sobě a dále pak zamezí ztrátám, které vznikají vířivými proudy. Z druhé strany jsou plechy izolovány lakem Remisol, který slouží jako izolant. Elektromagnetické vlastnosti rotoru jsou ovlivňovány tloušťkou plechu  $t$ , druhem izolace a druhem použitého materiálu plechu. Aby bylo vinutí, které se nachází v rotoru, dokonale izolováno, je celý rotor impregnován laky.



Obr. 1.5 Rotorový celek indukčního snímače polohy



Obr. 1.6 Spékací přípravek s připravenými plechy na slepení

### 1.2.2 Popis statoru indukčního snímače polohy

Stator (obr. 1.7) je nepohyblivá (statická) část indukčního snímače polohy. Do statoru je vložen rotor (viz 1.2.1), přičemž vzdálenost obou částí tvoří tzv. vzduchová mezera, která je významná pro elektromagnetické vlastnosti snímače. Stator je tvořen dle elektrických požadavků z 12 ks plechů o rozměru 170 x 656 mm, dále pak z 10 ks plechů o rozměru 170 x 702 mm, dále z 6 ks plechů 170 x 702 mm a následně z 1 ks plechu o rozměru

170 x 735 mm. Statorové plechy mají stejné elektromagnetické vlastnosti jako plechy rotoru. Tyto plechy jsou stejně jako u rotorové části zakruženy a následně sestaveny dle technologického předpisu do spékacích forem (viz obr. 1.6), které jsou následně vloženy do pece, kde jsou za stejné teploty, tj. 220 °C, jako rotorové plechy k sobě slepeny. Tímto slepením vznikne jednotný statorový celek.

Statorové plechy jsou stejně jako rotorové plechy od sebe z jedné strany izolovány lakem s obchodním názvem Backlak, který umožní slepení jednotlivých zakružných plechů, a z druhé strany lakem Remisol. Tyto laky slouží jako izolanty a zamezují ztrátám vířivými proudy.

Statorový celek je vložen do klece celého indukčního snímače polohy.



Obr. 1.7 Stator indukčního snímače s vinutím

### 1.3 Materiál pro výrobu indukčního snímače polohy

Volba vhodného materiálu indukčního snímače polohy je obdobná jako volba vhodného materiálu pro točivé elektronické stroje (generátory). Autor diplomové práce se touto problematikou již zabýval ve své bakalářské práci, proto čerpá z této práce. [2]

### 1.3.1 Vlastnosti plechů pro elektrotechniku

U indukčních měřících přístrojů, tak jako u všech přístrojů a strojů, je snahou docílit co nejvyšší účinnosti  $\eta$  (%), a tím také přesnosti, to znamená, že největším problémem jsou elektromagnetické ztráty energií ve snímači. Ztráty ovlivňující účinnost a přesnost jsou mechanické, vznikají jak ve vinutí, tak též v magnetickém obvodu obou částí – ve statoru i rotoru. Hlavní část ztrát lze eliminovat vhodnou volbou materiálu plechů pro stator a rotor a nastavením velikosti vzduchové mezery. Materiál plechů pro elektrotechniku se vyznačuje speciálními elektromagnetickými vlastnostmi. Materiálem, který se používá pro výrobu statorů a rotorů, jsou plechy a pásy z křemíkových ocelí, jež jsou válcovány zastudena a mohou být upraveny izolací - izolačními laky Sulfizolem, Backlakem nebo Remisolem.

### 1.3.2 Druhy plechů pro elektrotechniku

V elektrotechnice se používají pro výrobu indukčních snímačů polohy a elektrických točivých strojů plechy se speciálními elektromagnetickými vlastnostmi:

#### **a) plechy a pásy z izotropních nelegovaných ocelí pro elektrotechniku válcované zastudena v rozpracovaném stavu – značení dle EN 10106**

Izotropní nelegované oceli jsou válcované zastudena. Jsou dodávány v rozpracovaném stavu, teprve odběratel provádí závěrečné žhání. Magnetické vlastnosti proto platí pro referenční stav po odpovídajícím tepelném zpracování uvedeném v normě EN 10126. Plechy a pásy jsou dodávány běžně bez izolace. Tloušťka plechů se pohybuje v rozmezí 0,50 ÷ 0,65 mm, šířka plechů 600 ÷ 1000 mm, délka plechů 700 ÷ 3000 mm a šířka pásu ve svitcích 30 ÷ 1000 mm.

Tab. 1.1 Vlastnosti a značení izotropních nelegovaných ocelí pro tloušťky plechu  
0,50 ÷ 0,65 mm dle normy EN 10106

Jmen. tloušťka $t$ (mm)	značení podle EN 10106	elektromagnetické vlastnosti			
		min. magnetická polarizace ve stříd. magnet. poli při intenzitě pole $H$ (A/m)			max. měrné ztráty (W/kg) při 1,5 T a $f = 50$ Hz
		2 500	5 000	10 000	
0,50	M660-50D	1,62	1,70	1,79	6,60
	M890-50D	1,60	1,68	1,78	8,90
	M1050-50D	1,57	1,65	1,77	10,50
0,65	M800-65D	1,62	1,70	1,79	8,00
	M1000-65D	1,60	1,68	1,78	10,00
	M1200-65D	1,57	1,65	1,77	12,00

**b) plechy a pásy z orientovaných transformátorových ocelí pro  
elektrotechniku válcované zastudena – značení dle EN 10107**

Transformátorové orientované plechy a pásy válcované zastudena jsou dodávány ve vyžíhaném stavu. Plechy a pásy bývají dodávány s izolací Kerizol. Plechy a pásy se dodávají v tloušťkách 0,27; 0,30 a 0,35 mm, v šířkách 600 ÷ 900 mm, v délkách 700 ÷ 3000 mm a v šířkách pásů ve svitcích 30 ÷ 900 mm.

Tab. 1.2 Vlastnosti nejpoužívanějších transformátorových plechů dle normy EN 10107

Jmen. tloušťka <i>t</i> (mm)	značení podle EN 10107	elektromagnetické vlastnosti			značení podle DIN 46400 díl 3	elektromagnetické vlastnosti		
		min. magnetická polarizace (T) pro <i>J</i> = 800 A/m	max. měrné ztráty (W/kg) při 50 Hz a při 1,5 T a 1,7 T			min. magnetická polarizace (T) pro <i>J</i> = 800 A/m	max. měrné ztráty (W/kg) při 50 Hz a při 1,5 T a 1,7 T	
			1,5 T	1,7 T			1,5 T	1,7 T
0,27	M089-27N	1,75	0,89	1,40	VM089-27N	1,75	0,89	1,40
0,30	M140-30S	1,78	0,92	1,40	VM140-30S	1,78	-	1,40
0,35	M150-35S	1,78	1,05	1,50	VM155-35S	1,78	-	1,55
	M111-35N	1,75	1,11	1,65	VM111-35N	1,75	1,11	1,65

**c) plechy a pásy z izotropních dynamových ocelí pro elektrotechniku  
válcované zastudena v plně zpracovaném stavu – značení dle EN 10106**

Dynamové plechy a pásy se dodávají válcované zastudena ve vyžíhaném stavu. Plechy a pásy jsou dodávány s organickou izolací Sulfizol. Pokud jsou kladeny zvýšené požadavky na izolační odolnost, razitelnost, svařitelnost, korozivzdornost atd. jsou dodávány s anorganickým lakem Remisol nebo se speciálním lakem s obchodním názvem Backlak. Dle požadavků zákazníka je možno dodat plechy a pásy i bez izolačního laku. Tloušťka plechů bývá 0,35; 0,50 a 0,65 mm, šířka 600 ÷ 1000 mm, délka 700 ÷ 3000 mm a šířka pásů svitcích 30 ÷ 1000 mm.

Tab. 1.3 Vlastnosti dynamových plechů pro elektrotechniku, vybrané tři tloušťky materiálu  
dle normy EN 10106

Jmen. tloušťka $t$ (mm)	značení podle EN 10106	elektromagnetické vlastnosti					elektromagnetické vlastnosti			
		min. magnetická polarizace ve stříd. magnet. poli při intenzitě pole $H$ (A/m)			max. měrné ztráty (W/kg) při 1,5 T a 50 Hz	značení podle DIN 46 400 díl 1	min. magnetická polarizace ve stříd. magnet. poli při intenzitě pole $H$ (A/m)			max. měrné ztráty (W/kg) při 1,5 T a 50 Hz
		2 500	5 000	10 000			2 500	5 000	10 000	
0,35	M235-35A	1,49	1,60	1,70	2,35	V235-35A	1,55	1,65	1,75	6,00
	M330-35A	1,49	1,60	1,70	3,30	V330-35A	1,58	1,68	1,76	7,00
0,5	M400-50A	1,53	1,63	1,73	4,00	V400-50A	1,52	1,62	1,72	4,00
	M600-50A	1,57	1,66	1,76	6,00	V600-50A	1,55	1,65	1,75	6,00
	M700-50A	1,60	1,69	1,77	7,00	V700-50A	1,58	1,68	1,76	7,00
0,65	M530-65A	1,54	1,64	1,74	5,30	V530-65A	1,52	1,62	1,72	5,30
	M600-65A	1,56	1,66	1,76	6,00	V600-65A	1,54	1,64	1,74	6,00

**d) plechy pro výrobu odporových článků z křemíkové oceli válcované  
zastudena**

Pro výrobu odporových článků se používají plechy z transformátorových ocelí, které mají minimální obsah Si 3 %. Plechy jsou dodávány v žíhaném stavu bez povrchové úpravy a bez větší orientace zrn. U těchto plechů, vzhledem k jejich tloušťkám, je požadován stupeň tvárnosti. U tohoto materiálu není vyžadován nízký stupeň wattových ztrát.

Tab. 1.4 Vlastnosti a značení izotropních nelegovaných ocelí pro dvě tloušťky plechu  
0,50 ÷ 0,65 mm dle normy EN 10106

Značka jakosti	technické podmínky	jmenovitá tloušťka $t$ (mm)	rozměr plechu (mm)	počet ohybů $n$	měrný elektrický odpor ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )
Eo 17	TPC 209-26-69	0,50	900 x 1900	min. 5	0,50
		1,00		min. 5	
		1,50		min. 3	

### 1.3.3 Navrhovaný materiál pro vystřihování statorových a rotorových plechů

Pro výrobu indukčních snímačů polohy jsou vhodné plechy z izotropní dynamové oceli. Tyto plechy jsou také vhodné pro výrobu točivých elektronických strojů. Plechy jsou dodávány buď ve finálním zpracování, nebo v tzv. semifiniši, kde je materiál v rozpracovaném stavu. Pro výrobu statických elektrických strojů, především transformátorů, se používají transformátorové oceli s orientovanou strukturou, která se vyznačuje minimálními wattovými ztrátami v podélném směru. Při výrobě plechů pro indukční snímače polohy, tak jako i pro generátory, volíme materiál plechů a pásů z izotropních dynamových ocelí pro elektrotechniku válcovaných zastudena ve finálně zpracovaném stavu (viz 1.3.2).

Dle požadavků na výrobu elektrických točivých strojů a také požadavků zákazníka byl jako nejvhodnější materiál zvolen plech s označením M400-50A (tab. 1.5). Izotropní ocelový plech pro elektrotechniku s maximálními měrnými ztrátami  $p$  4,00 W/kg při 1,5 T a 50 Hz se jmenovitou tloušťkou  $t = 0,50$  mm dodáváný v tepelně zpracovaném stavu. Plechy jsou dodávány ve svazcích, pásy ve svitcích (obr. 1.8). Plech má z jedné strany povrchovou úpravu v podobě laku s obchodním názvem Backlak, který umožní slepení jednotlivých plechů, a z druhé strany povrchovou úpravu v podobě organického laku Remisol. Tloušťky vrstvy laků jsou 3  $\mu\text{m}$ . Laky snižují ztráty, které vznikají vířivými proudy ve vinutí statoru a rotoru. Laky mají odolnost vůči teplotám až do 230 °C. Hmotnost svitků je závislá na šířce plechu, zpravidla  $m = 5000$  kg při šířce plechu 1000 mm. Tyto svitky mohou být bez izolace, nebo s izolací na jedné či na druhé straně plechu.



Tab. 1.5 Vlastnosti dynamových plechů pro výrobu elektrických strojů, tloušťky 0,65 mm dle normy EN 10 106 (zvýrazněný materiál je použit v práci)

Značka dle ČSN EN 10106	tloušťka <i>t</i> (mm)	max. měrné ztráty při 50Hz		min. magnetická polarizace ve stříd. magnet. poli při intenzitě pole <i>H</i> (A/m)			<i>ρ</i> hustota (kg dm <sup>-3</sup> )
		<i>p</i> 1,5 (W/kg)	<i>p</i> 1,0 (W/kg)	<i>J</i> 2500 (T)	<i>J</i> 5000 (T)	<i>J</i> 10000 (T)	
M400-50A	0,50	4,00	1,50	1,53	1,63	1,73	7,70
M400-65A	0,65	4,00	1,70	1,52	1,62	1,72	7,65
M470-65A	0,65	4,70	2,00	1,53	1,63	1,73	7,65
M530-65A	0,65	5,30	2,30	1,54	1,64	1,74	7,70
M600-65A	0,65	6,00	2,60	1,56	1,66	1,76	7,75
M700-65A	0,65	7,00	3,00	1,57	1,67	1,76	7,75
M800-65A	0,65	8,00	3,60	1,60	1,70	1,78	7,80
M100-65A	0,65	10,00	4,40	1,61	1,71	1,76	7,80



Obr. 1.8 Svitek pásu M400-50A

## **1.4 Současná technologie výroby plechů rotoru a statoru indukčního snímače polohy ve společnosti TES VSETÍN, a. s.**

Současná technologie výroby plechů pro rotor a stator indukčního snímače polohy (viz 1.2) je prováděna ve čtyřech krocích na čtyřech různých pracovištích.

Plech, ze kterých jsou indukční snímače polohy vyráběny, jsou dodávány do společnosti TES VSETÍN, a. s., ve svitcích o šířce  $A_1 = 1000$  mm (viz obr. 1.8). Tyto svitky jsou dle technologického předpisu děleny na tabule excentrickým dvoubodovým lisem ZDAZLKD 400 (viz obr. 1.9). Pro rotor jsou to rozměry tabulí 448 x 1000 mm, 488 x 1000 mm a 525 x 1000 mm. Pro statorovou část indukčního snímače polohy jsou rozměry tabulí 666 x 1000 mm, 700 x 1000 mm, 712 x 1000 mm a 745 x 1000 mm. Počet potřebných jednotlivých tabulí v uvedených rozměrech se řídí dle vyráběného počtu kusů indukčních snímačů polohy. Na každou tabuli o šířce 1000 mm, což je šířka svitku, je možné umístit 5 ks výstřižků šířky 170 mm, což je předepsaná délka indukčního snímače polohy.

Excentrický dvoubodový lis ZDAZ LKD 400 umožňuje vystřihování součástí používaných v elektrotechnice z elektrotechnického dynamoplechu do tloušťky 1 mm o šířce pásu plechu 1000 mm. Lis je opatřen předepnutým valivým, průtokově mazaným vedením beranu a pneumatickým vyvažováním beranu. Pro dělení svitku plechu (viz obr. 1.8) na předepsané tabule plechu (viz tab. 1.8 a tab. 1.9) je využito šrotovacích nůžek, které mají sílu pro přestřižení svitku dynamoplechu 1 x 1000 mm. Celý lis je uložen na pružných tlumících blocích.

Jednotlivé parametry stroje jsou shrnuty do tabulky 1.6.



Obr. 1.9 Excentrický dvoubodový lis ZDAZ LKD 400

Tab. 1.6 Parametry excentrického dvoubodového lisu ZDAZ LKD 400

Parametr stroje	hodnota parametru stroje
jmenovitá síla	4000 kN
sevření beranu	540 mm
zdvih beranu	280 mm
přestavitelnost beranu	80 ÷ 100 mm
počet zdvihů beranu	15 ÷ 40 min <sup>-1</sup>
upínací plocha beranu	1400 x 1400 mm
upínací plocha stolu	1500 x 1500 mm
síla horního vyhazovače	25 ÷ 30 kN
zdvih horního vyhazovače	10 mm
maximální tloušťka plechu	1 mm
maximální šířka svitku plechu	1000 mm

Jednotlivé tabule plechů daných rozměrů jsou dále přemístěny na přesné vystřížení předepsaných rozměrů pásů plechů na hydraulické tabulové nůžky Amada GPN 630 (viz obr. 1.10). Rozměry pásů plechů pro rotor jsou uvedeny v tabulce 1.8, rozměry pásů plechů pro stator jsou uvedeny v tabulce 1.9.

Hydraulické tabulové nůžky Amada GPN 630 vynikají svojí stabilní konstrukcí, vysokou kvalitou stříhu a jednoduchým ovládáním. Tento stroj je vybaven NC řízeným zadním dorazem a úhlovacím stolem. Střížnou délku, šířku a počet kusů je možné naprogramovat.

Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 1.7.



Obr. 1.10 Hydraulické tabulové nůžky Amada GPN 630

Tab. 1.7 Parametry hydraulických nůžek Amada GPN 630

Parametr stroje	hodnota parametru stroje
jmenovitá síla	197 kN
délka řezu	3000 mm
maximální tloušťka plechu	6 mm

Tab. 1.8 Rozměry a počty kusů pásů plechů pro výrobu rotoru indukčního snímače polohy

Rozměry tabule plechů (mm)	rozměry pásu plechu (mm)	počet pásů plechů pro výrobu jednoho indukčního snímače polohy (ks)
448 x 1000	170 x 438	12
488 x 1000	170 x 438	13
525 x 1000	170 x 438	1

Tab. 1.9 Rozměry a počty kusů pásů plechů pro výrobu statoru indukčního snímače polohy

Rozměry tabule plechů (mm)	rozměry pásu plechu (mm)	počet pásů plechů pro výrobu jednoho indukčního snímače polohy (ks)
666 x 1000	170 x 656	12
700 x 1000	170 x 690	10
712 x 1000	170 x 702	6
745 x 1000	170 x 735	1

Dalším krokem v současné technologii výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je zakružování jednotlivých přesně nastříhaných pásů plechů na stanovené rozměry (viz tab. 1.8 a tab. 1.9). Zakružování pásu probíhá na motoricky poháněném třívalcovém zakružovacím stroji Roundo PAS-360 (viz obr. 1.11). Jednotlivé pásy plechů jsou zakládány do zakružovačky ručně. Zakružování je prováděno na dva



průchody pásu plechu, kdy v prvním průchodu je plech zakružen na požadovaný průměr a druhým průchodem je již tento plech kalibrován, tím se zamezí zpětnému odpružení stočeného plechu. Lepicí strana plechu, která je opatřena lakem Backlak, musí být na vnějším průměru zakruženého pásu plechu s výjimkou pásu plechu pro rotor o rozměru 170 x 438 mm a pro stator o rozměru 170x735 mm, kde musí být lepicí strana pásu plechu, která je opatřena lakem Backlak, na vnitřní straně zakruženého pásu plechu. Aby neulpívala na jednotlivých pásech mastnota, a nedocházelo tak k narušení ochranného laku, je nutné s plechy manipulovat v rukavicích.

Stroj ROUND0, typ PAS-360, je určen pro plynulé zakružování a ohýbání plechů různých tvarů a síly zastudena. Skládá se ze tří válců (horní a dva spodní válce), sklopné podpěry, lankového spínače nouzového zastavení, ovládacího panelu, PC jednotky, elektroskříně a kompletního elektrického vybavení. Stroj lze ovládat v režimu manuálním i automatickým.

Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 1.10.



Obr. 1.11 Tříválcová motoricky poháněná zakružovačka Roundo PAS-360

Tab. 1.10 Parametry třívalcové motoricky poháněné zakružovačky Roundo PAS-360

Parametr stroje	hodnota parametru stroje
provozní tlak	0,45 ÷ 1,60 MPa
regulace horního válce	5 ÷ 10 mm
regulace spodních válců	30 ÷ 50 mm
ø válců	80 mm
délka válců	1000 mm

Posledním krokem před zhotovením kompletního statorového a rotorového celku indukčního snímače polohy je sestavení jednotlivých zakružených pásů do celků podle délek a následné jejich sestavení do spékacího přípravku, na kterém jsou kompletizovány jednotlivé statorové a rotorové sestavy. Tyto přípravky jsou následně vkládány do pece, kde jsou za teploty 220 °C po dobu 10 minut jednotlivé zakružené plechy k sobě slepeny pomocí laku Backlak. Spára, která vznikne mezi konci zakružených plechů, je zalita dvousložkovým epoxidem, v němž je jako plnidlo použita křemíková drť (viz obr. 1.12). Tento epoxid je vytvrzován za teploty cca 80 °C. Po tomto tepelném slepení pomocí vytvrzeného laku Backlak vzniknou rotorové a statorové pakety (obr. 1.13) indukčního snímače polohy, které jsou předány k dalším technologickým a montážním úkonům.



Obr. 1.12 Vzniklá spára mezi konci zakružených plechů před zalitím a po zalití dvousložkovým epoxidem



Obr. 1.13 Statorové a rotorové pakety indukčního snímače polohy

Postupný sled operací je zřejmý z technologického postupu stávající výroby rotoru indukčního snímače polohy (viz tab. 1.11) a statoru indukčního snímače polohy (viz tab. 1.12).



Tab. 1.11 Výrobní postup pro výrobu rotoru indukčního snímače polohy

Číslo operace	výrobní dílna	pracoviště	popis operace	výrobní pomůcky	a) 170 x 438 mm		b) 170 x 478 mm		c) 170 x 515 mm	
					$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$
01	2220	33147	příprava svitků šířky 1000 mm, stříhat ze svitku tabule plechu o rozměru 448 x 1000 mm pro pásy plechu typu a), 488 x 1000 mm pro pásy typu b), 525 x 1000 mm pro pásy typu c)	excentrický dvoubodový lis ZDAZ LKD 400	39,0	2,2	0	2,2	0	2,2
02	2220	23922	stříhat z jednotlivých tabulí plechu o rozměru 448 x 1000 mm pro pásy plechu typu a), 488 x 1000 mm pro pásy typu b), 525 x 1000 mm pro pásy typu c), pásy plechu dle rozměru o počtu kusů a) 12 ks, b) 13 ks, c) 1 ks	hydraulické tabulové nůžky Amada GPN 630	8,0	3,073	8,0	2,836	8,0	0,38
03	2220	23922	kontrola povoleného otřepu (nesmí překročit 0,05 mm)		0	0	0	0	0	0
04	2220	03841	zakružít nastříhané pásy plechu o tloušťkách 0,5 mm na průměr 141 mm, lepící strana plechu opatřená lakem Backlak, musí být na vnějším průměru; poslední plech délky 515 mm musí mít lepící stranu na vnitřním průměru; při manipulaci s plechy nutno použít rukavice	tříválcová zakružovačka Roundo PAS-360	5,0	6,90	0	7,48	0	0,58
05	2220	09991	při stáčení 26 ks plechů bude výpomoc skládat stočené plechy do tří svazků podle délek, tyto svazky popíše a následně je umístí do spékacích přípravků		0	0	0	0	0	0

Tab. 1.12 Výrobní postup pro výrobu statoru indukčního snímače polohy

Číslo operace	výrobní dílna	pracoviště	popis operace	výrobní pomůcky	a) 170 x 656 mm		b) 170 x 690 mm		b) 170 x 702 mm		d) 170 x 735 mm	
					$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$
01	2220	33147	příprava svitků šířky 1000 mm, stříhat ze svitku tabule plechu o rozměru 666 x 1000 mm pro pásy plechu typu a), 700 x 1000 mm pro pásy typu b), 712 x 1000 mm pro pásy typu c), 745 x 1000 mm pro pásy typu d)	excentrický dvoubodový lis ZDAZ LKD 400	49,0	2,64	0	2,64	0	2,64	0	2,64
02	2220	23922	stříhat z jednotlivých tabulí plechu o rozměru 666 x 1000 mm pro pásy plechu typu a), 700x1000 mm pro pásy typu b), 712 x 1000 mm pro pásy typu c) 745 x 1000 mm pro pásy typu d), pásy plechu dle rozměru o počtu kusů a) 12 ks, b) 10 ks, c) 6 ks, d) 1 ks	hydraulické tabulové nůžky Amada GPN 630	8,0	3,48 3	8,0	2,90 3	8,0	1,74 2	8,0	0,29 9
03	2220	23922	kontrola povoleného otřepu (nesmí překročit 0,05 mm)		0	0	0	0	0	0	0	0
04	2220	03841	zakružít nastříhané pásy plechu o tloušťkách 0,5 mm na průměr 141 mm, lepicí strana plechu opatřená lakem Backlak, musí být na vnějším průměru; poslední plech délky 735 mm musí mít lepicí stranu na vnitřním průměru; při manipulaci s plechy nutno použít rukavice	tříválcová zakružovačka Roundo PAS-360	5,0	10,3 9	0	8,66	0	5,19	0	0,86 6
05	2220	09991	při stáčení 29 ks plechů bude výpomoc skládat stočené plechy do tří svazků podle délek, tyto svazky popíše a následně je umístí do spékacích přípravků		0	0	0	0	0	0	0	0

## 2 Návrh ekonomicky výhodného technologického postupu výroby plechů statoru a rotoru indukčního snímače polohy vystřihováním a zakružováním

V současné době je technologie výroby indukčních snímačů polohy vystřihováním a zakružováním ve společnosti TES VSETÍN, a. s., uskutečňována ve čtyřech krocích, a to v každém kroku na samostatném pracovišti, což je důkladně rozebráno v kapitole 1.4. Cílem návrhu ekonomicky výhodného technologického postupu výroby statorů a rotorů indukčního snímače polohy je dosažení zvýšení produktivity výroby o 20 % oproti současné produkci výroby (viz tab. 2.1). Vhodným návrhem správné technologie stříhání a zakružování a dále možnosti seskupení jednotlivých výrobních pracovišť do pokud možno jednoho celku je docíleno konkurenceschopnosti a návratnosti výroby statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy.

Tab. 2.1 Produkce výroby statorových a rotorových celků  
indukčního snímače polohy v roce 2010

	<b>Celkový počet plechů potřebných na výrobu jednoho celku (ks)</b>	<b>produkce celků indukčního snímače polohy v roce 2010 <i>p</i> (ks)</b>
rotorový celek	26	3 600
statorový celek	29	3 600
indukční snímač polohy	55	3 600

## 2.1 Rozbor možných technologií výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy vystřihováním

K dělení tenkých plechů, které se jsou použity v elektrotechnice k výrobě elektrických točivých strojů (generátorů) a indukčních snímačů polohy, je použita výhradně technologie stříhání.

Technologie stříhání představuje jednu z nejrozšířenějších operací ve strojírenství. Střížné operace jsou obsaženy v mnoha technologických postupech výroby strojních součástí z plechů.

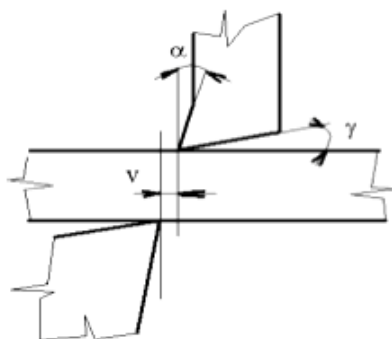
Pod pojmem stříhání se rozumí oddělování částic materiálu smykovým působením dvojice nástrojů, (nožů nebo střížníku a střížnice) podél křivky stříhu. Stříhání je v lisovnách používáno k přípravě polotovarů, např. stříhání přístřihů z tabulí plechu na pásy, rozdělení svitků plechů nebo vystřihování součástí z plechů. Při stříhání je plech v místě stříhu vystaven tlaku, který roste od nuly do meze pevnosti materiálu ve stříhu, pak dojde k oddělení materiálu. Ustřížení materiálu probíhá velmi rychle jako ráz. K ustřížení materiálu dochází dříve, než se setkají oba nože. [9]

Nástroje pro stříhání jsou střížník a střížnice nebo dvojice nožů. Mohou mít různý tvar a jsou převážně vyrobeny z nástrojové oceli. Nacházejí využití při vystřihování měkkých tvárných materiálů menších nebo středních tloušťek.

Technologii stříhání statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy lze provádět třemi základními způsoby stříhání materiálu a to stříháním rovnoběžnými noži, stříháním skloněnými noži a stříháním kruhovými noži. Další možností stříhání je využití speciální technologie stříháním pomocí pryže.

- a) **Stříhání rovnoběžnými noži** - při stříhání rovnoběžnými noži je plech stříhán najednou v celé šířce, čímž dochází k rychlému nárůstu a poklesu síly. Po dosednutí nože na materiál síla prudce stoupá a dosahuje maxima v okamžiku, kdy je nůž v určité hloubce stříhaného průřezu a v blízkosti řezných hran nože se objeví ve stříhaném materiálu první trhlinky. Následuje prudký pokles síly při přetržení materiálu. K oddělení plechu tedy dojde dříve, než horní pohyblivý nůž projde celou tloušťkou stříhaného materiálu. Pro stříhání se používá střížný nástroj, který se skládá ze střížníku a střížnice nebo dvojice nožů. Mezi nástroji

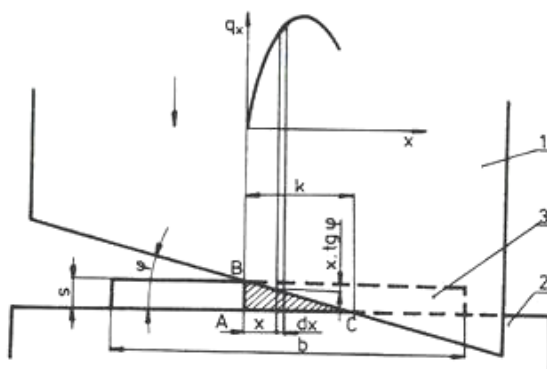
se nachází střižná vůle  $v$ , resp. střižná mezera  $m_s$  ( $1/2$  střižné vůle). Nelze totiž bez zvláštních úprav zkonstruovat nástroj bez mezery z důvodu nebezpečí havárie. K docílení kvalitního stříhu je důležitá vůle mezi střižníkem a střižnicí. Jednostranná vůle  $v$  bývá obvykle od 3 do 10 % tloušťky plechu v závislosti na tloušťce a pevnosti materiálu (s rostoucí pevností se vůle zvětšuje). Úhel hřbetu střižného nástroje  $\alpha = 0 \div 3^\circ$  při úhlu větším než  $0^\circ$  se dosahuje kvalitnější střižné polohy, úhel čela střižného nástroje  $\gamma = 0 \div 12^\circ$ , zvětšující úhel  $\gamma$  je vhodný pro měkké materiály. Při stříhání rovnoběžnými noži není průběh střižné síly příznivý. Prudký vzrůst a především náhlý pokles síly při přetržení materiálu způsobuje rázy v mechanismech stroje, které jsou nebezpečné především pro kalené součásti stroje. Schéma stříhání rovnoběžnými noži (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 Schéma stříhání rovnoběžnými noži [10]

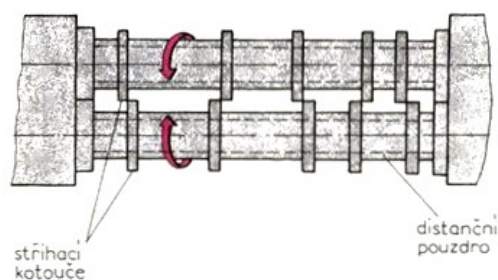
- b) Stříhání skloněnými noži** - Nevýhody stříhání rovnoběžnými noži jsou odstraněny při použití nožů, které jsou skloněny pod určitým úhlem. Plech pak není stříhán v celé šířce najednou, ale postupně. Pracovní zdvih potřebný k ustřížení plechu je v porovnání s rovnoběžnými noži větší a je přímo úměrný úhlu sklonu nože  $\varphi$ . Úhel sklonu nože bývá v rozmezí  $1 \div 5^\circ$ , aby byla zaručena podmínka samosvornosti a stříhaný plech před nožem neujížděl. U tabulových nůžek bývá tento úhel  $1^\circ 30'$ , čímž se docílí, že deformace stříhaného plechu je pouze pružná. Toto platí pouze u tenkých plechů, které jsou používány např. v elektrotechnice. Sklon střižných nůžek má kladný vliv na snížení střižné

síly. Celková střižná síla při stříhání skloněnými noži je menší než celková střižná síla při stříhání rovnoběžnými noži. Schéma stříhání skloněnými noži (viz obr. 2.2). Nevýhodou stříhání skloněnými noži je, že odpad ze stříhaného materiálu je deformován ohnutím. Tento efekt lze ale eliminovat použitím přidržovače při stříhání plechu.

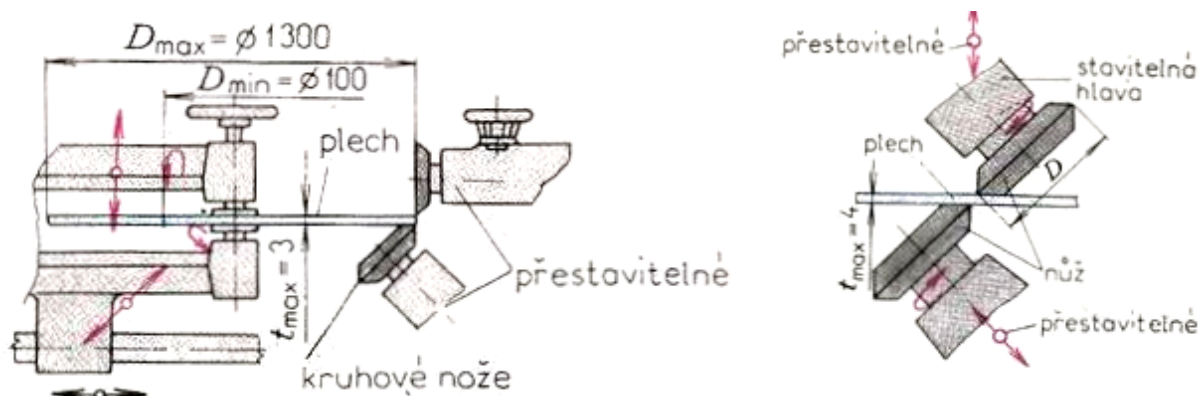


Obr. 2.2 Schéma stříhání skloněnými noži [11]

- c) **Stříhání kruhovými noži** - Pro podélné stříhání dlouhých pásů se používají nůžky kotoučové, kruhové (viz obr. 2.3). Je to střižný nástroj s odvalujícími se noži. Použití kruhových nožů prodlužuje čas stříhu, ale eliminuje rázy při stříhání. Sklon řezné hrany se mění od nejvyšší hodnoty v místě záběru do nuly. Kombinace dvoukuželového a válcového nože je určena pro stříh zakřivených tvarů s výhodou skloněných os nástrojů. Na křivkové stříhání (viz obr. 2.4) je potřeba zvolit průměr nožů co nejmenší. To umožňuje konstrukci nůžek s dlouhými rameny nesoucími kotouče a tím i snadnou manipulaci se stříhaným materiálem. Speciálním nástrojem jsou kmitací nůžky. Slouží k ostříhování výlisků a k vystříhování drážek a děr. Maximální možná tloušťka materiálu je kolem 10 mm. [11]

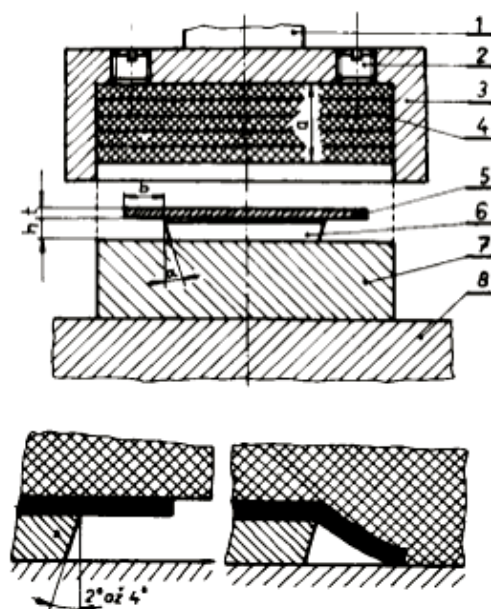


Obr. 2.2 Kotoučové nůžky při stříhání pásů [11]



Obr. 2.3 Křivkové nůžky s různým uspořádáním [11]

- d) **Stříhání pomocí pryže (obr. 2.4)** – používá se pro stříhání výstřižků z tenkého plechu. Nástroj pro stříhání je složen z pouzdra s gumovým polštářem a střížníkem. Střížníkem je zde tenká deska o tloušťce  $6 \div 10$  mm. Střížník je shodný s obrysem konečného výstřižku. Protinástrojem je pryž, která je buď uzavřená v rámu, nebo je volně položená na součástku. Plech není stříhán, ale lámán na ostré hraně. Nevýhodou vystřihování pryží je vnik velkých jehel a nepřesnosti díky nedokonalému stříhu, dále velký podíl odpadního materiálu, nízká životnost pryže a omezení tloušťky stříhaného plechu. Výhody technologie stříhání pryží spočívají v jednoduchém a levném nástroji a možnosti stříhání více součástek najednou.



Obr. 2.4 Stříhání pryží (1 - stopka, 2 - zátky otvoru pro vyrážení gumového polštáře z objímky, 3 - ocelová objímka, 4 - gumové desky, 5 – stříhaný plech, 6 – střižník, 7 – spodní deska, 8 – podložka) [10]

### 2.1.1 Návrh efektivní technologie vystřihování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy

Při daném počtu kusů výroby za rok (viz tab. 2.1) se jedná o hromadnou výrobu plechů pro statory a rotory indukčních snímačů polohy. Po jednotlivém rozboru technologií stříhání plechů (viz 2.1) je autorem diplomové práce navrženo použití technologie stříhání skloněnými noži. Tato technologie je výhodná pro svou přesnost stříhání plechu, kdy nepřekračujeme požadovaný otřep, který nesmí překročit hodnotu 10 % tloušťky stříhaného plechu. Hodnota velikosti otřepu stříhané hrany je v elektrotechnice rozhodujícím parametrem. Další výhodou této technologie stříhání je vynaložení menší střižné síly než u technologie stříhání rovnými noži a eliminace rázů při stíhání s rovnými noži. Nevýhodu v podobě deformace odpadního materiálu navrhuje autor práce eliminovat použitím přidržovače při stříhu materiálu.



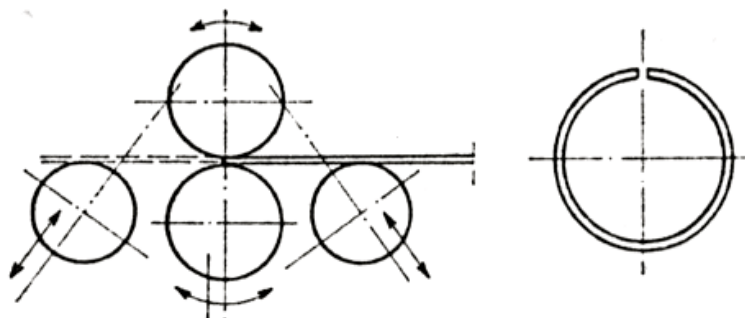
Technologii stříhání pomocí pryže nelze použít, protože ke stříhu materiálu dochází lámáním materiálu na ostré hraně. Nebyla by pak dodržena předepsaná hodnota velikosti otřepu plechu, který musí být menší než 10 % tloušťky stříhaného materiálu v našem případě 0,05 mm pro plech M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3).

I když technologie stříhání kruhovými noži je mimořádně vhodná pro dělení dlouhých pásů, není tato technologie vhodná pro sestavení efektivní linky na vystřihování a stáčení satorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy z důvodu delšího času stříhu při dělení plechu.

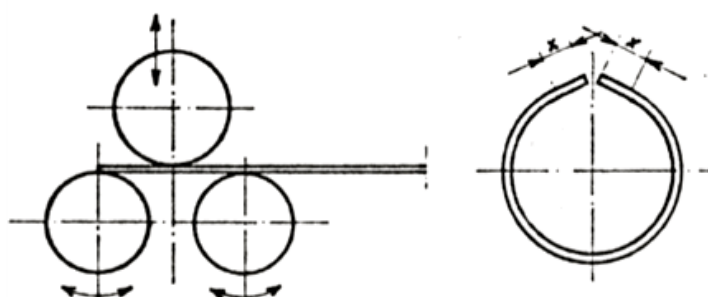
## **2.2 Rozbor technologie zakružování satorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy**

Zakružování je proces tváření, při kterém je materiál trvale deformován a je z pásů plechu, nebo profilového materiálu stáčen do kruhu, nebo válcové či kuželové plochy. Z plechu se tak vytvářejí pouzdra, trubky, válcové nádrže, kotle, násypky atd. Profilový materiál se zakružuje do oblouků, kruhů, šroubovice či spirály. Při zakružování se místo ohybu plynule posouvá po délce materiálu od jednoho konce k druhému, přičemž se zakřivení postupně zvětšuje na žádanou hodnotu. Plechy v tloušťce  $30 \div 40$  mm se zakružují zastudena, tlustší plechy se pak zakružují zatepla [12].

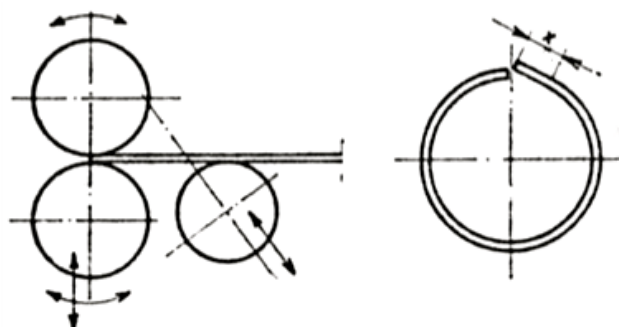
Stroje využívané pro tento proces tváření se nazývají zakružovačky. Pracovním ústrojím u zakružovaček jsou válce nebo tvarové kotouče (u zakružovaček na profily). Zakružovačky mohou být tříválcové nebo čtyřválcové (viz obr. 2.5). Podle jejich vzájemné polohy válců se zakružovačky dělí na symetrické (viz obr. 2.6) a nesymetrické (viz obr. 2.7). Symetrické tříválcové zakružovačky mají dva spodní podpěrné válce a uprostřed mezi nimi přitlačovací válec. Podpěrné válce konají reversní otáčivý pohyb, přitlačovací válec lze posouvat ve svislé rovině. Přitlačováním ohýbacího válce lze zvětšovat zakřivení ohýbaného materiálu od nuly až prakticky k zakřivení ohýbacího válce [12].



Obr. 2.5 Konstrukční schéma čtyřválcové zakružovačky [12]



Obr. 2.6 Konstrukční schéma tříválcové symetrické zakružovačky  
( $x$  – délka nezakruženého okraje plechu) [12]



Obr. 2.7 Konstrukční schéma tříválcové nesymetrické zakružovačky  
( $x$  – délka nezakruženého okraje plechu) [12]

Protože symetrické zakružovačky pracují podle vzoru nosníku zatíženého ohýbací silou uprostřed, zůstávají na obou koncích plechu nezakružené části o délce  $x$ , v níž ohýbací moment nedosahuje velikosti potřebné k plastické deformaci. Má-li být výrobek dokonalý, je třeba okraje plechu předechnout na lisu. [12]

Tříválcové nesymetrické zakružovačky (viz obr. 2.7) pracují podle vzoru vetknutého nosníku. To má pozitivní dopad na nezakružené konce, které nejsou již na obou stranách, nýbrž jen na jedné straně plechu. Zakružit i tento okraj je možné po obrácení plechu tak, aby nezakružený přešel do vetknutí.

Aby bylo ušetřeno manipulace otáčení plechu, je využíváno čtyřválcových zakružovaček (viz obr. 2.5) se dvěma postranními ohýbacími válci, na nichž lze zakružit materiál na obou stranách až k okraji.

Nejmenší poloměr zakružení závisí na průměru vrchního válce, který nelze zmenšit pod určitou mez, aby se válec při práci neprohýbal a výrobky nebyly soudkovité.

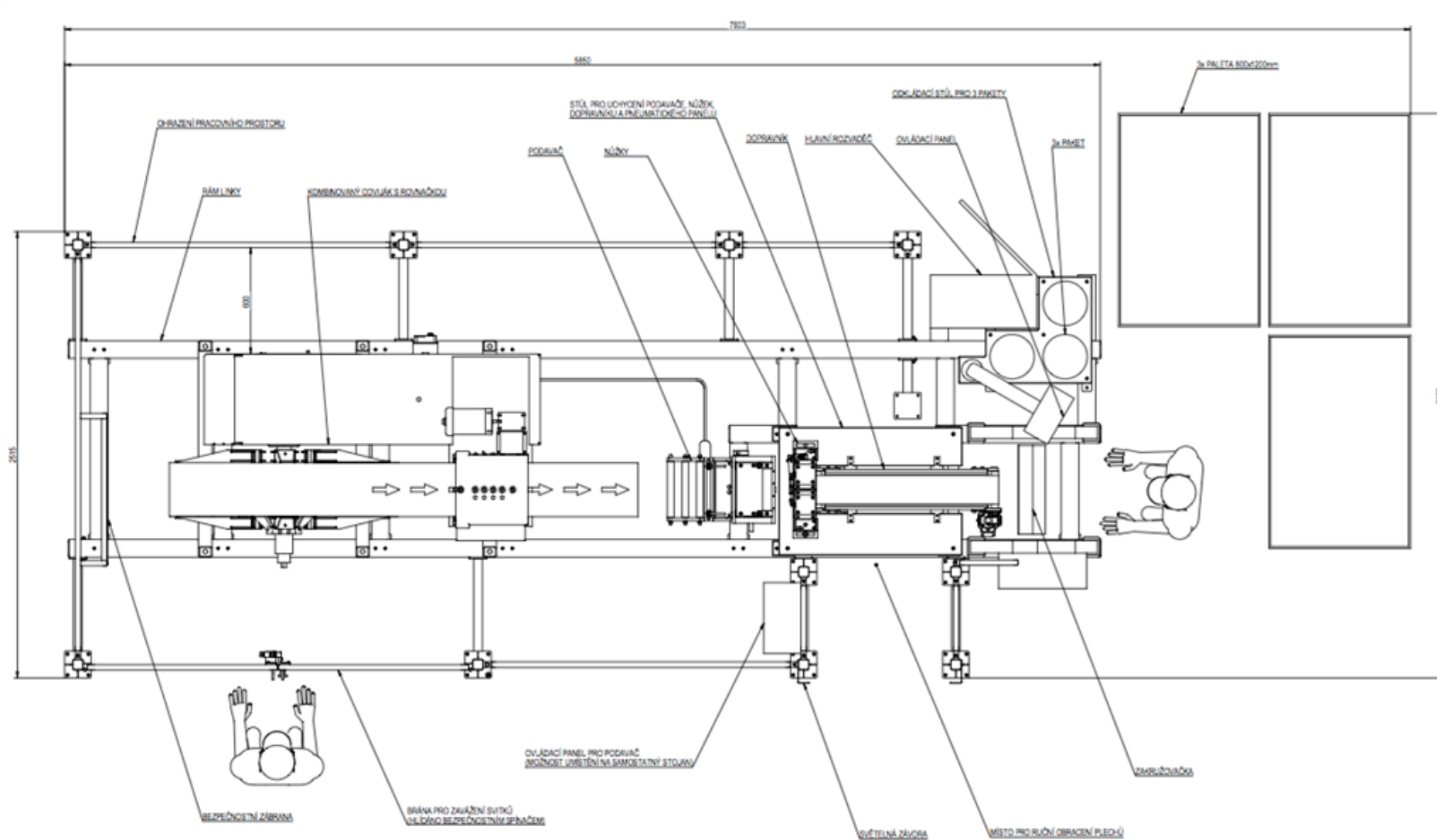
### **2.2.1 Návrh vhodné technologie zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy**

Po rozboru druhů zakružovaček autor diplomové práce navrhuje využití čtyřválcové zakružovačky. Při využití technologie pro zakružení plechů rotoru a statoru, které tvoří hlavní část indukčního snímače polohy, nedochází k nepříznivému nezakružení konců plechů. Eliminace nezakružení konců plechů by bylo možno s využitím i tříválcové nesymetrické zakružovačky, ale zde by bylo nutno jednotlivé plechy zakružit na dva průchody zakružovačkou, což je časově neefektivní. Je snahou vyrobit zakružený plech na jeden průchod. Pak je možno jednotlivé technologické operace umístit v chronologickém sledu dle technologického postupu a celý proces automatizovat. Tím se ušetří čas výroby statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy.

## **2.3 Návrh sestavení efektivní linky na stříhání a stáčení rotorových a statorových celků indukčního snímače polohy**

Pro zefektivnění výroby statorových a rotorových plechů stříháním a zakružováním je navrhováno autorem diplomové práce sestavení jednotlivých navržených dílčích technologií (stříhání a zakružování) do výrobní linky. Tato výrobní linka bude moci zefektivnit výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy a dále bude mít kladný vliv na uvolnění kapacit na jednotlivých pracovištích využívaných při výrobě statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy ve stávající technologii (viz 1.4). Optimalizací výrobní technologie, tj. zvolení vhodných částí a komponent výrobní linky, ale i použitím vhodných nástrojů, lze dosáhnout nižších výrobních nákladů statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy, a tím zvýšit konkurenci schopnost snímače polohy, ale i zvýšit jeho roční produkci.

Schéma linky pro vystřihování a zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je uvedeno na obr. 2.8.



Obr. 2.8 Schéma linky na vystřihování a zakružování plechů pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače poloh

### **2.3.1 Popis funkce výrobní linky statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy**

Navržený plech M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3) pro výrobu statorových a rotorových plechů je do výrobní linky dodáván ve svitku plechu (viz obr. 1.8). Aby bylo umožněno využití automatizované výroby těchto plechů, je autorem diplomové práce navrhována šířka toho svitku  $A_2 = 170$  mm. Tento svitek je umístěn do odvíjecího zařízení.

Plech, který je odvíjen z odvíjecího zařízení, vstupuje do rovnacího zařízení, kde je eliminována deformace plechu, která vznikne stočením plechu do svitku. Plech dále vstupuje do podávacího zařízení, které řídí pomocí CNC programu délku posuvu pásu plechu, který je vsouván do pneumatických nůžek. V pneumatických nůžkách je pás plechu odstřižen od svitku plechu a je předán na pásový dopravník, který přesouvá plech nadělený na délky předepsané programem do točny, kde podle programu buď pouze projde do zakružovačky, nebo je přetočen a následně zaveden do zakružovačky.

### **2.3.2 Volba technologických částí linky pro stříhání a zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy**

Pro efektivní výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je nutné navrhnout části linky, které budou činit výrobu indukčního snímače polohy efektivní.

Autor diplomové práce navrhuje sestavení výrobní linky na vystřihování a zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy z jednotlivých technologických zařízení:

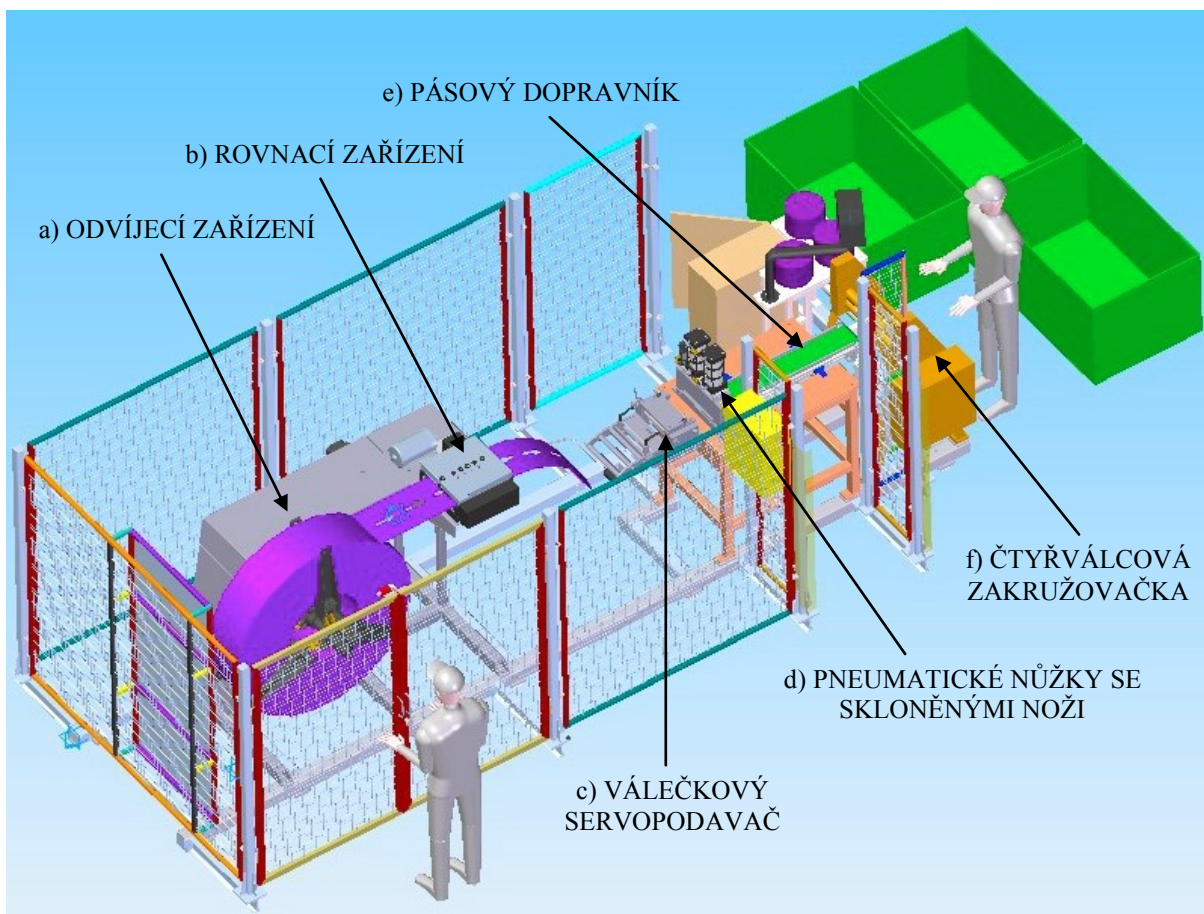
- a) odvíjecího zařízení,
- b) rovnacího zařízení,
- c) válečkového servopodavače,
- d) pneumatických nůžek se skloněnými noži,
- e) pásového dopravníku,

f) čtyřválcové zakružovačky.

Rozmístění jednotlivých technologických částí výrobní linky je zřejmé z obr. 2.9

Požadavek na výrobní linku je, aby její obsluha byla zabezpečena jedním výrobním dělníkem. Tento výrobní dělník ovládá a volí chod CNC programu. Dále odebírá jednotlivé zakružené statorové a rotorové plechy indukčního snímače polohy ze zakružovačky a dle předepsaného technologického postupu (viz tab. 2.7 a tab. 2.8) je skládá do statorových a rotorových celků. Tyto celky jsou dále dopravovány k další technologické operaci - sestavení do spékacích přípravků (viz obr. 1.6). Tyto přípravky jsou následně vloženy do pece, kde jsou za teploty 220 °C po dobu 10 minut jednotlivé plechy k sobě slepeny pomocí laku Backlak. Vzniklá spára mezi zakruženými konci plechu je následně zalita dvousložkovým epoxidem, v němž se jako plnidlo používá křemíková drť (viz obr. 1.12). Epoxid je dále vytvrzován za teploty cca 80 °C. Následně po tomto vytvrzení vzniknou statorové a rotorové pakety (viz obr. 1.13) indukčního snímače polohy. Tyto pakety jsou dále předány k dalším technologickým a montážním úkonům.

Aby byla zajištěna bezpečnost výrobních dělníků a osob pohybujících se v blízkosti výrobní linky, navrhuje autor diplomové práce zabezpečení výrobní linky bezpečnostními prvky v podobě ochranného plotu, který zamezuje přístup do pracovního prostoru. Pro výměnu svítka plechu je přístup umožněn branou, jejíž zavření je hlídáno dveřními bezpečnostními spínači.



Obr. 2.9 Navržená sestavená linka pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy s rozmístěním technologických zařízení

Návrh jednotlivých technologických zařízení ve výrobní lince pro vystříhování a zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy:

**a)** Výrobní linka se skládá z **odvíjecího zařízení** (obr. 2.10), které zajišťuje plynulé dodávání potřebného množství pásu plechu do pneumatických nůžek. Tělo odvíjecího zařízení je tvořeno ze stabilní svařované konstrukce, na které je umístěno i rovnací zařízení. Svitek pásu plechu o navrhované šířce  $A_2 = 170 \text{ mm}$  se zakládá na mechanický rozpínací trn. Zakládání svitku se musí z důvodu rizika poranění provádět vždy v kvalitních rukavicích a s důsledným respektováním bezpečnostních předpisů. Rozměry a váha svitku musí odpovídat technickým parametrům odvíjecího zařízení (viz tab. 2.2), jinak by mohlo dojít k poškození nebo zničení mechanických komponentů odvíjecího zařízení. Před založením



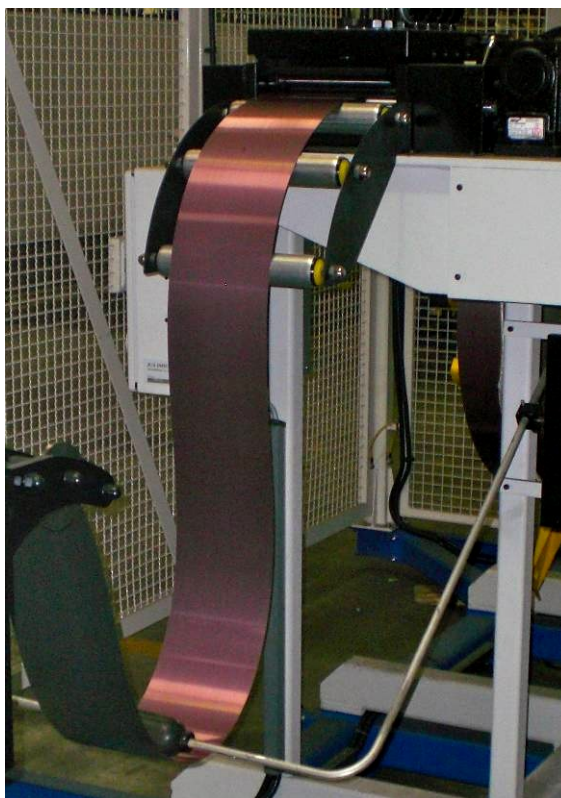
pásu plechu je třeba zjistit směr odvíjení materiálu ze svitku. Materiál by měl být odvíjen z horní části svitku a veden přímo do rovnacího zařízení.

Odvíjecí zařízení není nijak motoricky poháněno, proto je svitek odvíjen tahem materiálu realizovaným rovnačkou. Aby bylo zabráněno samovolnému odvíjení pásu, je na odvíjecí hřídel namontována mechanická brzda. Přístup k seřizovacímu šroubu brzdy je uskutečňován přes montážní dvířka v rámu. Při správném seřízení brzdy odvíjecího zařízení nedochází k samovolnému odvíjení a materiál je mezi odvíjecím zařízením a rovnacím zařízením držen v napnutém stavu.

Materiálová smyčka (viz obr. 2.11) mezi rovnacím zařízením a podávacím zařízením slouží ke stejnoměrnému a kontinuálnímu přívodu materiálu do pneumatických nůžek. Odvíjecí zařízení je vybaveno kyvným ramenem položeným na pás plechu. Snímání smyčky pomocí kyvného ramene je nejjednodušším a nejlevnějším systémem. Kyvné rameno je položeno na pás materiálu a při zkracování nebo prodlužování smyčky vykonává kývavý pohyb. Rameno je upevněno pomocí svěrného spoje na drážkovanou hřídelku převodníku a jeho pohyb je přenášen na potenciometr frekvenčního měniče pohonu rovnačky. Při montáži má být rameno nasazeno na drážkovanou hřídelku tak, aby ve vodorovné pozici byla hřídelka na konci svého otočného pohybu a při napnutí pásu tedy došlo k aktivaci bezpečnostního spínače a zastavení linky.



Obr. 2.10 Odvíjecí zařízení spojené s rovnacím zařízením



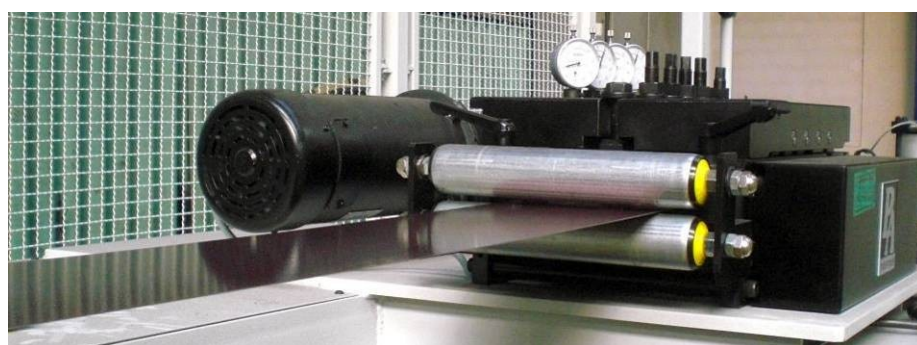
Obr. 2.11 Materiálová smyčka s kyvným ramenem

Tab. 2.2 Technické parametry odvíjecího zařízení

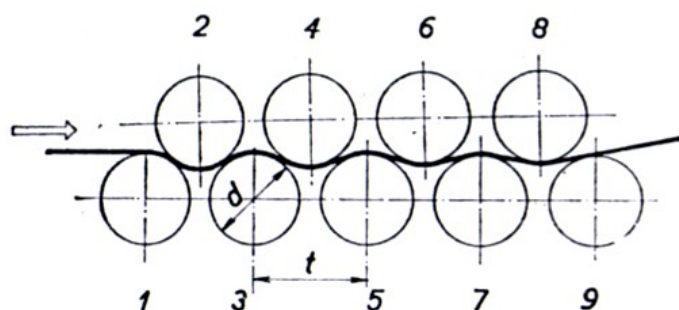
Parametr stroje	hodnota parametru stroje
max. hmotnost svitku	1600 kg
max. šířka svitku	300 mm
vnitřní $\varnothing$ svitku	375 ÷ 520 mm
max. vnější $\varnothing$ svitku	1445 mm

**b)** Další částí výrobní linky je **rovnací zařízení** (viz obr. 2.12). Plechy pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy jsou dodávány do výrobní linky v podobě svitků (viz obr. 1.8). Stočením plechů do svitků dochází k deformaci plechů. Tato deformace je nežádoucí k dalšímu zpracování plechů. Aby tato nežádoucí deformace byla odstraněna, je využíváno rovnacího zařízení. Materiál, který je odvíjen ze svitku, vstupuje do rovnacího zařízení, kde prochází mezi 9 válci o  $\varnothing$  38mm. Tyto válce jsou uloženy ve dvou řadách nad sebou. Ve spodní řadě je uloženo 5 válců a v horní řadě 4 válce (viz obr. 2.13). Materiál prochází mezi horní a spodní řadou válců. Všechny válce rovnacího

zařízení jsou kaleny na 60 HRC a dále jsou jemně broušeny. Pro seřízení rovnacího zařízení je sada horních válců individuálně stavitelná. Rovnící válce musí být seřizeny tak, aby zepředu, kde materiál vstupuje do rovnacího zařízení, až do zadu, kde naopak materiál vystupuje z rovnacího zařízení, přinášely stále méně rovnací práce, tzn. aby se jejich zanoření do materiálu zmenšovalo. Hodnoty seřízení jednotlivých válců je možno odečíst na setinových hodinkách, které jsou součástí zařízení. Při optimálním seřízení rovnacího zařízení vychází pás ven mírně dolů zakřivený nebo absolutně rovný. Pokud není materiál dostatečně vyrovnaný, je třeba dále snížit rovníací válce. Pokud materiál vychází prohnutý směrem nahoru, je třeba uvolnit zadní rovníací válce.



Obr. 2.12 Rovníací zařízení se setinovými hodinkami



Obr. 2.13 Konstrukční schéma uspořádání válců rovníacího zařízení  
( $d$  – průměr válců,  $t$  – rozteč válců)

Tab. 2.3 Technické parametry rovnacího zařízení

Parametr stroje	hodnota parametru stroje
počet rovnacích válců	9 ks
ø rovnacích válců	38 mm
max. rychlost pásu	23 m/min.
max. šířka pásu	200 mm
tloušťka pásu (při plné šířce)	0,5 ÷ 2,0 mm

c) Materiál v podobě plechu dále vstupuje do **válečkového servopodavače** (viz obr. 2.14), který dopravuje stanovenou délku dle CNC programu do pneumatických nůžek se skloněnými noži. Přesnost podávání materiálu je  $\pm 0,025$  mm. Válečkový servopodavač se skládá z kalených jemně broušených podávacích válců odlehčené konstrukce, které jsou uloženy v bezúdržbových kuličkových ložiscích. Synchronní běh horního a dolního válce je uskutečňován pomocí ozubených kol bez zubové vůle. Válečkový servopodavač je vybaven náběhovým vedením s manuálně stavitelnými bočními rolnami. Toto náběhové vedení má za úkol snazší a přesné vedení pásu plechu do válečkového servopodavače.



Obr. 2.14 Válečkový servopodavač

Tab. 2.4 Technické parametry válečkového servopodavače

Parametr stroje	hodnota parametru stroje
max. šířka pásu	200 mm
rozevření válců	$0 \div 3,5$ mm
max. tloušťka plechu při plné šířce pásu	2,0 mm
max. rychlost podání	136 m/min.
ø podávacích válců	90 mm
přesnost podání materiálu	$\pm 0,025$ mm
tažná síla v ustáleném provozu	400 N
tažná síla ve špičce	1130 N

d) Autor diplomové práce po rozboru možných způsobů stříhání plechů (viz 2.1) navrhnul pro stříhání statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy využití technologie stříhání se skloněnými noži (viz 2.1.1). Tento předpoklad dělení materiálu střížným nástrojem se skloněnými noži splňují autorem diplomové práce navrhované **pneumatické nůžky se skloněnými noži** (obr 2.15). Pneumatické nůžky slouží pro přesné dělení pásu plechu. Posuv materiálu na požadovanou délku je realizován válečkovým servopodavačem. Nůžky jsou poháněny tlakovým vzduchem a pro aktivaci pracovního zdvihu potřebují elektrický signál.

Pneumatický válec je řízen čtyřcestným solenoidovým ventilem. Pomocí signálu z koncového snímače, indukčního snímače, programovatelného váčkového snímače nebo časového relé mohou být nůžky synchronizovány s libovolným strojem.

Střížné nože, tj. horní nůž i spodní nůž, mají všechny 4 hrany střížné. To znamená, že při otupení jedné hrany může být otočen a pracovat s další střížnou hranou. Pokud jsou otupeny všechny 4 střížné hrany, musí být nůž nabroušen.

Nůžky jsou konstruovány tak, že horní nůž a dolní nůž nejsou vůči sobě ve vodorovné pozici, ale jsou šikmé. Toto konstrukční řešení je velmi výhodné pro potřebu vynaložení menší střížné síly oproti konstrukci nožů s vodorovným uspořádáním. Aby nedocházelo k deformaci konce materiálu, je v těchto nůžkách využito přidržovače. Tímto systémem je dosaženo čisté střížné hrany s otřepem max. do 10 % tloušťky stříhaného materiálu.

Konstrukce nůžek je ukotvena do stabilního ocelového rámu. Vedení horního nože proti spodnímu noži je zabezpečeno vodíci sloupky s bronzovými ložiskovými pouzdry.



Obr. 2.15 Pneumatické nůžky se skloněnými noži

Tab. 2.5 Technické parametry pneumatických nůžek se skloněnými noži

Parametr stroje	hodnota parametru stroje
max. šířka pásu	300 mm
rozsah tloušťky materiálu	0,04 ÷ 2,3 mm
max. tloušťka materiálu, při plné šířce pásu plechu	Al, mosaz – 2,3 mm Ocel – 1,7 mm Nerez – 1,6 mm
max. frekvence:	190 1/min.
transportní váha:	73 kg
max. síla při 7 bar:	21300 N
spotřeba vzduchu:	12 NI/zdvih

e) Ustřížený pás plechu je dále dopravován k zakružovačce pomocí **pásového dopravníku**. Pro lepší zavádění ustříženého pásu plechu do zakružovačky je navržen



přípravek, který po opuštění plechu z pásového dopravníku navádí tento materiál do zakružovačky (viz obr. 2.16)



Obr. 2.16 Přípravek pro nasměrování pásu plechu do zakružovačky

f) Posledním technologickým zařízením linky na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je po jednotlivém rozboru typů zakružovaček (viz 2.2) autorem diplomové práce navrhována **čtyřválcová zakružovačka** (viz obr 2.17). Tato zakružovačka má asymetrické uspořádání válců. Čtyřválcová zakružovačka dává předpoklad jednoho průchodu pásu plechu tak, aby průměr statorových a rotorových plechů odpovídal výrobnímu výkresu (viz výkresová příloha č 001 a č 002) a technologickému postupu (viz tab. 2.7 a tab. 2.8). Aby byla zaručena vysoká životnost válců zakružovačky, je navrženo jejich tepelné zpracování v podobě kalení.



Obr. 2.17 Čtyřválcová zakružovačka výrobní linky

Tab. 2.6 Technické parametry čtyřválcové zakružovačky

Parametr stroje	hodnota parametru stroje
počet válců	4 ks
ø válců	80 mm
rychlost zakružování	6 m/min.



Tab. 2.7 Výrobní postup pro výrobu rotoru indukčního snímače polohy

Číslo operace	výrobní dílna	pracoviště	popis operace	výrobní pomůcky	a) 170 x 438 mm		b) 170 x 478 mm		c) 170 x 515 mm	
					$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$
01	2220	03869	příprava svitků šířky 170 mm	linka na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy	28,0	0	0	0	0	0
02	2220	03869	ve výrobní lince dělit svitek plechu na pásy plechu o rozměru a) 170 x 438 mm v počtu 12 ks, b) 170 x 478 mm v počtu 13 ks, c) 170 x 515 mm v počtu 1 ks; plechy jsou dále zakruženy ve výrobní lince na průměr 141 mm; při manipulaci s plechy nutno použít rukavice	linka na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy	0	4,190	0	4,87	0	0,375
03	2220	03869	kontrola povoleného otřepu (nesmí překročit 0,05 mm)		0	0	0	0	0	0
04	2220	03869	při stáčení 26 ks plechů bude výpomoc skládat stočené plechy do tří svazků podle délek, tyto svazky popíše a následně je umístí do spékacích přípravků		0	0	0	0	0	0

Pozn.: čas  $T_{BC}$  u operace č. 1 je uváděn pouze jednou z důvodu přípravy svitku do výrobní linky. Tento svitek plechu je využíván pro všechny rozměry pásu plechu.

Tab. 2.8 Výrobní postup pro výrobu statoru indukčního snímače polohy

Číslo operace	výrobní dílna	pracoviště	popis operace	výrobní pomůcky	a) 170 x 656 mm		b) 170 x 690 mm		b) 170 x 702 mm		d) 170 x 735 mm	
					$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$	$T_{BC}$	$T_{AC}$
01	2220	03869	příprava svitků šířky 170 mm.	linka na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy	28,0	0	0	0	0	0	0	0
02	2220	03869	ve výrobní lince dělit svitek plechu na pásy plechu o rozměru a) 170 x 656 mm v počtu 12 ks, b) 170 x 690 mm v počtu 10 ks, c) 170 x 702 mm v počtu 6 ks, d) 170 x 735 mm v počtu 1 ks; plechy jsou dále zakruženy ve výrobní lince na průměr 141 mm; při manipulaci s plechy nutno použít rukavice	linka na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy	0	6,01	0	5.276	0	3.40	0	0.528
03	2220	03869	kontrola povoleného otřepu (nesmí překročit 0,05 mm)		0	0	0	0	0	0	0	0
04	2220	03869	při stáčení 29 ks plechů bude výpomoc skládat stočené plechy do tří svazků podle délek, tyto svazky popíše a následně je umístí do spékacích přípravků		0	0	0	0	0	0	0	0

Pozn.: čas  $T_{BC}$  u operace č. 01 je uváděn pouze jednou z důvodu přípravy svitku do výrobní linky. Tento svitek plechu je využíván pro všechny rozměry pásu plechu.

### 3 Konstrukční řešení střížného nástroje

Dělení svitku plechu na jednotlivé pásy plechu je uskutečňováno ve zvolené technologii (viz 2.3) pomocí pneumatických nůžek se skloněnými noži. Pohon pneumatických nůžek zabezpečuje dvojčinný pneumatický válec.

Střížné nože jsou konstruovány tak, že všechny 4 hrany jsou střížné. Toto konstrukční řešení má velmi příznivý přínos vzhledem k životnosti střížných nožů. Při optimálním otupení jedné střížné hrany nože může být nůž otočen a pracovat s další svou střížnou hranou. Po optimálním otupení všech hran musí být nože přebroušeny.

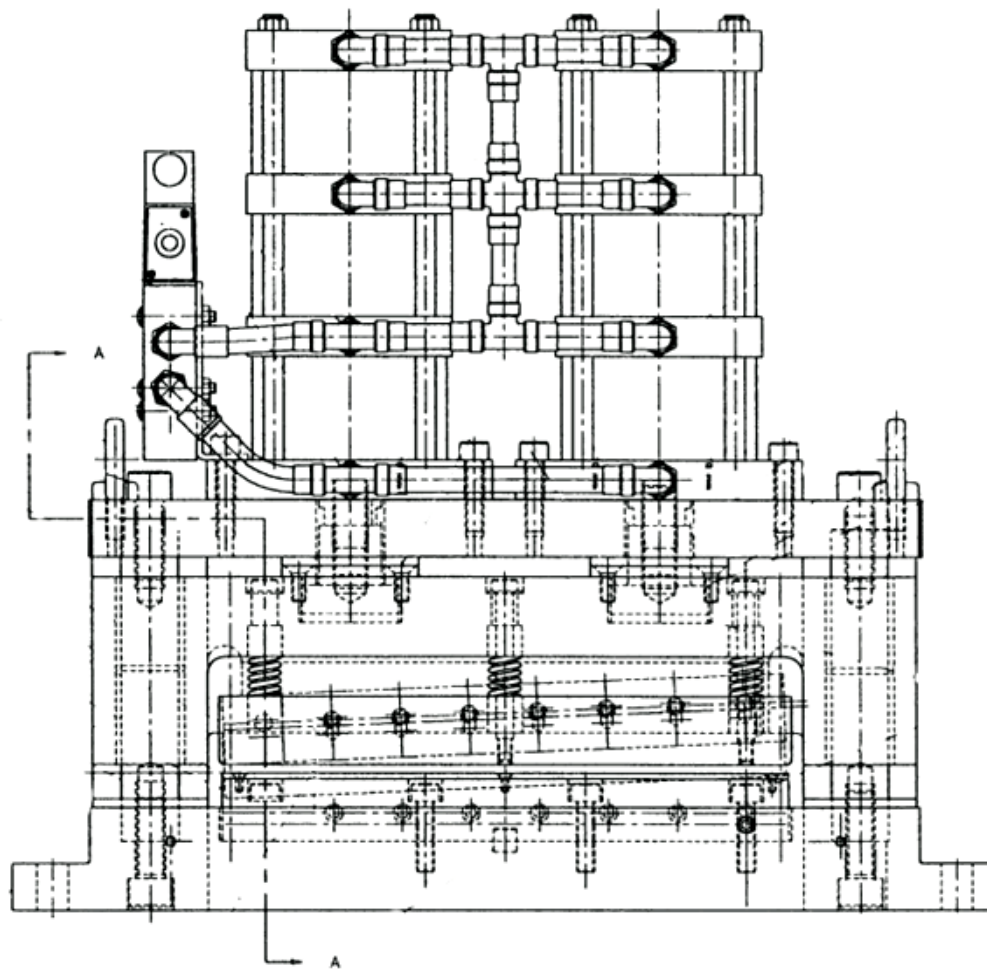
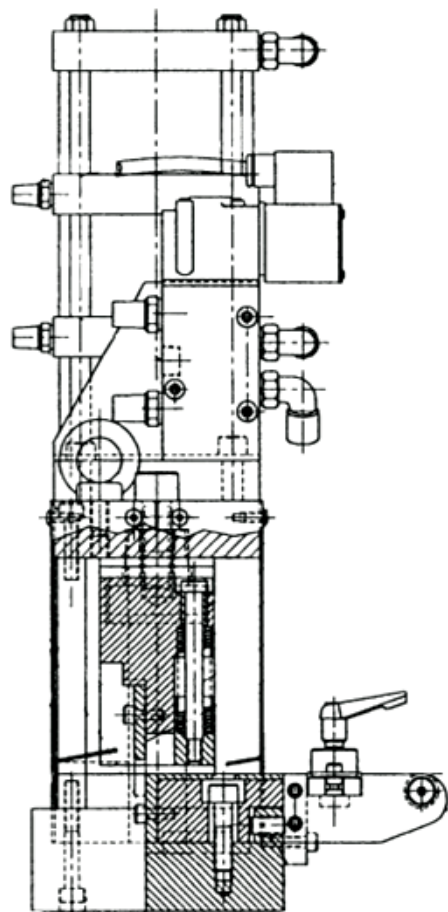
Nové nože mají výšku 38,1 mm. Nože jsou broušeny na své podélné úzké ploše. Úběr výšky vzniklý broušením musí být nahrazen příslušným podložením střížného nože. Střížná hrana horního nože musí být vzdálena 38,1 mm od základny držáku horního nože, aby byl zajištěn v horní poloze dostatečný odstup obou nožů a ve spodní poloze dostatečný přesah.

Pokud jsou všechny čtyři hrany horního nebo spodního nože otupené nebo vylomené, musí být vyměněny za nové. Konstrukce horního a dolního nože je stejná, tzn. mohou být mezi sebou zaměňovány.

Konstrukce nožů nůžek je šikmá. Tato konstrukce má velmi významný vliv na životnost střížného nástroje. Při použití tohoto uložení střížných nožů je dosahováno vyšší životnosti oproti uložení střížných nožů ve vzájemné rovnoběžné poloze (viz 2.1). Dosažení vyšší životnosti nástrojů má za následek využití nižších střížných sil.

Při stříhání plechu nůžkami se skloněnými noži dochází k nežádoucímu ohybu stříhaného plechu. Aby bylo zabráněno této nežádoucí deformaci plechu, jsou pneumatické nůžky se skloněnými noži vybaveny spodním přidržovačem.

Pro názornost konstrukce pneumatických nůžek se skloněnými noži je na obr. 3.1 proveden řez tímto zařízením.



Obr. 3.1 Řez pneumatickými nůžkami se skloněnými noži

### 3.1 Návrh na zvýšení životnosti střížných nožů

Pro efektivní využití střížných částí stroje je nezbytné zvyšování jejich životnosti. Životnost střížných nástrojů se stanovuje podle počtu vyrobených výstřížků v požadovaných rozměrech a kvalitě. Střížné nože jsou opotřebené, pokud jejich funkční části nelze již naostřit nebo opravit. Pokud je nástroj opotřebován, lze pozorovat na výstřížku zhoršenou kvalitu střížné hrany.

Životnost nástrojů při stříhání pásů plechů pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je hodnocena tzv. otřepem, který vzniká po ustřížení plechu. Otřep nesmí překročit povolenou hodnotu 10 % tloušťky stříhaného plechu. Pro plech M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3), který je řešený v diplomové práci nesmí otřep překračovat hodnotu 0,050 mm. Hodnota otřepu má takový význam pro slisovaný komplex statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy, že pokud je dosaženo vyšší hodnoty otřepu než je 10 % tloušťky stříhaného plechu, tak je dosahováno neefektivního chodu indukčního snímače polohy. Tento neefektivní chod stroje je zapříčiněn elektromagnetickými ztrátami.

Dosažená hodnota otřepu je při výrobě kontrolována porovnávacím dílenským měřidlem, speciální dílenskou lupou, nebo dílenským mikrometrem. Jednotlivé nadělené a zakružené pásy plechu jsou kontrolovány obsluhou výrobní linky na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy.

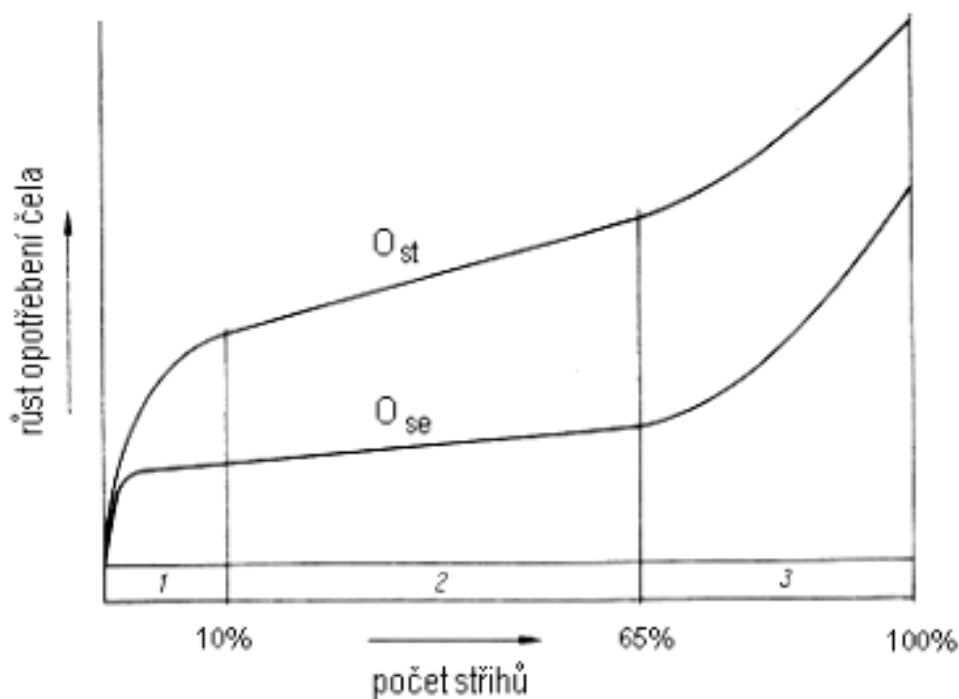
Rozeznávají se dva druhy trvanlivosti nástroje:

- celková trvanlivost – odpovídá životnosti,
- dílčí trvanlivost – doba mezi dvěma přebroušeními.

Běžné nástroje lze přebroušovat až dvacetpětkrát. Počet přebroušení závisí na rozměrech funkčních částí stříhadla, rozměrech výstřížku a konstrukci nástroje [20].

Opotřebením nástroje způsobí úbytek materiálu na funkčních plochách střížných elementů. Opotřebením vzniká při postupném vnikání střížníku do stříhaného plechu. Okrajová vlákna se prodlužují a dochází ke zpevňování materiálu. Na střížných hranách nástroje vznikají vysoké tlaky, které způsobují opotřebením adhezivního nebo abrazivního charakteru. Adhezivní opotřebením je charakterizováno vytrháváním částic bříty nástroje v důsledku

adhezních mikrosvarů mezi nástrojem a tvářeným materiálem, vzniká převážně u střížných a řezných nástrojů. Abrazivní opotřebení je způsobeno pronikáním tvrdých hranatých částic mezi břit nástroje a stříhaný materiál. Tyto částice způsobují úbytek materiálu na funkčních plochách stříhadel, při stříhacích operacích se vyskytuje méně. Častěji vzniká u operací lisovacích. Nárůst opotřebení nemá lineární průběh, ale obecný (viz obr. 3.2). Křivka je rozdělena na tři pásma, v každém z nich je pak jiná strmost křivky. V úseku 1 dochází k rychlému opotřebení ostrých břitů nového nástroje. V pásmu 2 se rychlost opotřebení snižuje, protože došlo ke zvětšení střížné plochy, a tím k poklesu tlaku na jednotku plochy. V úseku 3 dochází ke zrychlení opotřebení díky změně deformace na střížné hraně. Kromě stříhání dochází v oblasti střížného obvodu také k protlačování výstřížku střížnicí. Se vzrůstajícím opotřebováním vzrůstá také velikost střížné síly. [20]



Obr. 3.2 Křivka růstu opotřebení

( $O_{st}$  – opotřebení střížníku,  $O_{se}$  – opotřebení střížnice) [20]

Hlavními činiteli, které mají významnou roli pro životnost střížných nožů, jsou:

- a) délka stříhu materiálu,
- b) druh stříhaného materiálu,
- c) materiál střížných nožů,
- d) druh uložení nožů,
- e) možný počet přeastření nožů,
- f) mazání střížných nástrojů pro snížení tření mezi noži.

**ad a)** Délka stříhu u zvolené technologie (viz 2.3) je dána šířkou stříhaného pásu plechu a druhu uložení střížných nožů. Autorem diplomové práce navrhovaná šířka pásu plechu, který je dodáván do výrobní linky, je 170 mm. Vzhledem k použití pneumatických nůžek se skloněnými noži nevnikají střížné nože do stříhaného materiálu najednou, ale postupně. To má také příznivý vliv na jejich životnost.

**ad b)** Stříhaný materiál pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je dán charakterem a použitím plechů v elektrotechnice. Autorem diplomové práce byl proveden rozbor jednotlivých plechů používaných v elektrotechnice (viz 1.3) a jako nevhodnější plech byl zvolen plech o tloušťce  $t = 0,50$  mm s označením M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3).

**ad c)** Volba materiálu střížného nástroje zcela zásadně ovlivňuje životnost nástroje, a to z hlediska náchylnosti nástroje k prasknutí střížných nožů, jejich otupení, a tím i počtu přeastření. Otupení nástroje je dáno velikostí otřepu na střížné hraně plechu. Tento otřep může dosahovat maximální hodnoty 10 % tloušťky stříhaného plechu. Nože pneumatických nůžek jsou v současné době vyráběny z nástrojové oceli ČSN 19 436 (viz 3.1.1.1).

**ad d)** Při použití pneumatických nůžek se skloněnými noži jsou střížné nože uloženy vůči sobě pod úhlem (viz obr. 3.1). Šikmé uložení nůžek má příznivý vliv na střížnou sílu, která je menší oproti použití uložení nožů ve vzájemné rovnoběžné poloze. Použití menší střížné síly má příznivý vliv na delší životnost střížných nožů.

**ad e)** Počet přebroušení nože je dán nejen jeho samotnou konstrukcí, ale také konstrukcí pneumatických nůžek se skloněnými noži. Nože pneumatických nůžek mají všechny čtyři hrany střížné, proto je možno tyto nože efektivně využít. Pracovní výška nožů, do které je možné tyto nože přebroušovat, je 6 mm. Úběr třísky na jednu přebroušení hrany je 0,1 mm, což znamená, že při využití všech čtyř střížných hran je možno nože až 240x přebrousit, než je potřeba je vyměnit za nové.

**ad f)** Mazání střížných částí v elektrotechnice je nežádoucí z důvodu přenesení těchto mastnot na stříhaný materiál. Konstrukce elektrotechnických strojů nedovoluje mastnoty na materiálu, z kterého jsou vyráběny statorové a rotorové celky strojů. Materiály, které by byly znečištěny mastnotami, by musely být technologicky odmaštěny, což by bylo finančně náročné a projevilo by se to na prodražení statorových a rotorových plechů, indukčního snímače polohy, a tím i na prodražení celého zařízení.

Jako nejvýhodnější způsob zvýšení životnosti střížných nástrojů autor diplomové práce navrhuje změnu materiálu střížných nožů pneumatických nůžek se skloněnými noži.

### **3.1.1 Materiály střížných nástrojů**

Pro výrobu střížných nástrojů se nejčastěji ve společnosti TES VSETÍN, a. s., používají tři druhy nástrojových materiálů, se kterými má podnik dlouholetou zkušenost a jsou spolehlivé. Jedná se o nástrojovou ocel ČSN 19 436 (chromová), rychlořeznou ocel ČSN 19 830 a speciální produkt práškové metalurgie Vanadis 10.

#### **3.1.1.1 Chromová ocel dle ČSN 19 436 (X210Cr12 EN 96-79)**

Jedná se o vysoce legovanou chromovou ocel s velkou prokalitelností, která má vysokou odolnost proti opotřebení kovovými, ale i minerálními látkami. Vyznačuje se dále dobrou řezivostí, velmi vysokou pevností v tlaku a dobrou stálostí rozměrů při tepelném zpracování. Nevýhodou je obtížná obrusitelnost, obtížná tvárnost za tepla a poněkud ztížená obrobitelnost v žíhaném stavu.



Tyto nástroje se používají pro stříhání zastudena: všechny druhy nástrojů s velkou životností pro stříhání na lisech a děrování materiálů menších tloušťek a materiálů vysoké pevnosti (zejména tvarově složité nástroje pro stříhání dynamových a transformátorových plechů a plechů z nerezavějících ocelí), nože pro tabulové nůžky na plech a páskovou ocel (do tloušťky stříhaného materiálu asi 4 mm), nože na stříhání drátů apod.

Tab. 3.1 Výňatek z normy ČSN 41 9436

Skupina ocelí na nástroje na stříhání zastudena, tváření, na řezné nástroje a formy							
chemické složení (hmotn. %)	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
	1,80 ÷ 2,05	0,20 ÷ 0,45	0,2 ÷ 0,45	11,0 ÷ 12,5	max. 0,50	max. 0,03	max. 0,035

### 3.1.1.2 Rychlořezná ocel dle ČSN 19 830 (HS 6-5-2 EN 96-79)

Ocel je charakterizována jako výkonná rychlořezná ocel se zvýšenou houževnatostí a snadnější obrobiteľností při broušení. Proti jiným rychlořezným ocelím je náchylnější na oduhlíčení.

Používá se pro značně namáhané nástroje k obrábění materiálu se střední a vyšší pevností. Především pro nástroje vyžadující zvlášť dobrou houževnatost jako jsou: výkonné frézy, vrtáky, závitníky, výstružníky, obráběcí nože na ozubení apod.

Tab. 3.2 Výňatek z normy ČSN 41 9830

Skupina ocelí na řezné nástroje									
chemické složení (hmot. %)	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	P	S
	0,8 ÷ 0,9	max. 0,45	max. 0,45	3,8 ÷ 4,6	5,5 ÷ 7, 0	1,5 ÷ 2,2	4,5 ÷ 5,5		max. 0,035

### 3.1.1.3 Produkt práškové metalurgie Vanadis 10

VANADIS 10 se řadí mezi ledeburitickou produkci nástrojového materiálu. Je vhodný pro vysokovýkonné nástroje a velké série, kde je dominantní problém s abrazivním opotřebením. Je alternativou pro nástroje z materiálů (např. tvrdokov), které jsou náchylné k vylamování hran nebo ke vzniku trhlin. Využívá se pro výrobu nástrojů pro práci zastudena (tváření, obrábění, apod.). Materiál nalézá uplatnění tam, kde je zapotřebí vysoké tvrdosti a odolnosti vůči opotřebení při zachování dostatečné houževnatosti. Zmíněné vlastnosti mohou být vylepšovány použitím speciální povrchové úpravy, tj. PVD vrstvy. Protože však může během provozu docházet k velkému zatěžování této vrstvy a v důsledku její křehkosti i k destrukci, je třeba řešit tento problém jejím „vypodložením“ mezivrstvou s vyšší tvrdostí, než je tvrdost substrátu. K tomuto účelu se používá plazmová nitridace. Vytvoří se speciální vrstva materiálu se zvýšeným obsahem dusíku, což má za následek zvýšení tvrdosti nad hodnotu původního materiálu (zakaleného a popuštěného).

Tab. 3.3 Výňatek z dokumentace dodavatele

Vanadis 10						
chemické složení (hmot. %)	C	Mn	Si	Cr	V	Mo
	2,9	0,5	0,5	0,8	9,8	1,5

### 3.1.2 Vyhodnocení životnosti navrhovaných materiálů

Životnost střižných materiálů navrhovaných autorem diplomové práce je shrnuta do tabulky (viz tab. 3.4). Tato tabulka životnosti střižných nástrojů byla získána dlouhodobým sledováním ve společnosti TES VSETÍN, a. s., a vyhodnocováním životnosti jednotlivých analogických střižných nástrojů. Praktické životnosti jednotlivých nástrojů jsou výsledkem úpravy teoretických životností, koeficientem provedení nástroje a složitostí tvaru střižných hran. V tabulce životnosti střižných materiálů nejsou zahrnuty náhodné destrukce (havárie) nástrojů (vypadnutí části nástroje do pracovního prostoru stroje, cizí předmět v nástroji atd.).

Tab. 3.4 Tabulka předpokládané životnosti střížných nástrojů

Provedení nástroje	materiál střížných částí	počet zdvihů na jedno ostření z (-)	průměrný úběr ze střížné části při ostření s (mm)	celková pracovní výška střížných částí h (mm)	teoretický počet ostření za celkovou životnost nástroje	životnost nástroje (počet zdvihů) $T_c$ (-)
<b>nástroj blokový s horním vyjímáním <math>\phi 100 \div 1000</math> mm</b>	ČSN 19 436	50 000	0,25	12	48	2 400 000
	ČSN 19 830	75 000	0,25	12	48	3 600 000
	VANADIS 10	150 000	0,25	12	48	7 200 000
<b>jednoduché střížné nože pro prostý stříh</b>	ČSN 19 436	70 000	0,1	6	60	4 200 000
	ČSN 19 830	310 000	0,1	6	60	18 600 000
	VANADIS 10	450 000	0,1	6	60	27 000 000
<b>nástroj postupový jednořadý <math>50 \div 300</math> mm segment, hlavního pólu max. 360</b>	ČSN 19 436	80 000	0,25	12	48	3 840 000
	ČSN 19 830	150 000	0,25	12	48	7 200 000
	VANADIS 10	300 000	0,25	12	48	14 000 000
<b>nástroj drážkový bez obseku průměru</b>	ČSN 19 436	50 000	0,1	6	60	3 000 000
	ČSN 19 830	240 000	0,1	6	60	14 400 000
	VANADIS 10	400 000	0,1	6	60	24 000 000

Doplňek k tab. 3.4 jedná se o úpravu životnosti nástrojů dle různých působících vlivů:

- životnost je stanovena na limitní otřep 10 % tloušťky plechu, při požadavku na nižší otřep životnost klesá;
- stříhání probíhá bez mazání střížných nástrojů;
- tabulková teoretická životnost je snížena koeficienty reality procesu:

- tvar výlisku:

ostré rohy, nízké můstky  $K_1 = 0,90$

rybiny, malé otvory  $K_2 = 0,85$

- počet profilových střížníků v osazení:

do 20  $K_3 = 0,90$

do 50  $K_4 = 0,75$

- pevnost materiálu v tahu:

nad 500 MPa  $K_5 = 0,90$

- obsah Al:

nad 1 %  $K_6 = 0,90$

- d) praktická životnost je násobkem teoretické životnosti a vybraných koeficientů;
- e) výchozím materiálem je dynamo plech zastudena válcovaný v jakosti M400-50A EN 10106 o tloušťce 0,50 mm s ochranou izolační vrstvou;
- f) tabulka životností byla ve společnosti TES VSETÍN, a. s., sestavena ze statistického vyhodnocení životnosti nástrojů pro různé velikosti výstřižků a je určena pro nabídkovou činnost lisovacího nářadí a činnost seřizovače a ostříče lisovacího nářadí.

### 3.1.2 Návrh materiálu střížných nožů za účelem zvýšení jejich životnosti

Z provedeného rozboru životnosti nástrojů pro jednotlivé nástrojové materiály (viz tab. 3.4) využívané společností TES VSETÍN, a. s., autor diplomové práce navrhuje změnu materiálu střížných nožů ze stávajícího materiálu ČSN 19 436 (viz 3.1.1.1) na materiál práškové metalurgie Vanadis 10 (viz 3.1.1.3).

Změnou materiálu střížných nástrojů se sice docílí zvýšení jejich životnosti, ale vzhledem k počtu stříhů za rok (viz tab. 3.5) a ceně střížných materiálů (viz tab. 3.6)

je pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy volba materiálu Vanadis 10 finančně neefektivní. Současný materiál střížných nástrojů dosahuje při použití všech svých čtyřech střížných hran teoretické životnosti 16 800 000 zdvihů.

Tab. 3.5 Tabulka počtu stříhů uskutečňovaných na pneumatických nůžkách

	<b>Celkový počet plechů potřebný na výrobu jednoho celku (ks)</b>	<b>produkce celků indukčního snímače polohy v roce 2010 (ks)</b>	<b>celkový počet stříhů potřebných pro výrobu celků indukčního snímače polohy v roce 2010 (ks)</b>
rotorový celek	26	3 600	93 600
statorový celek	29	3 600	104 400
indukční snímač polohy	55	3 600	198 000

Tab. 3.6 Cena nožů pneumatických nůžek

<b>Druh materiálu</b>	<b>cena nožů pneumatických nůžek (Kč)</b>
ČSN 19 436	15 000
ČSN 19 830	30 000
Vanadis 10	45 000

### 3.2 Přesnost stříhu pásu plechu indukčního snímače polohy

Přesnost výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy, které jsou zhotoveny technologií stříhání (viz 2.1.1), je hodnocena převážně velikostí otřepu po stříhu. Tento otřep může dosahovat maximální hodnoty 10 % tloušťky stříhaného

materiálu. Velikost otřepu je ovlivněna otupením střížného nástroje. Otřep je kontrolován obsluhou výrobní linky pomocí porovnávacího dílenského měřidla.

Dalším důležitým parametrem pro sestavení jednotlivých celků indukčního snímače polohy je délka stříhaného pásu. Tato délka je řízena CNC programovatelným válečkovým podavačem pásu svitku (viz 2.3.2). Podavač je schopný dopravovat materiál mezi nože pneumatických nůžek s přesností  $\pm 0,025$  mm. Jelikož jednotlivé pásy plechu mají toleranci délky  $\pm 0,050$  mm je této přesnosti dosahováno CNC řízeným válečkovým podavačem.

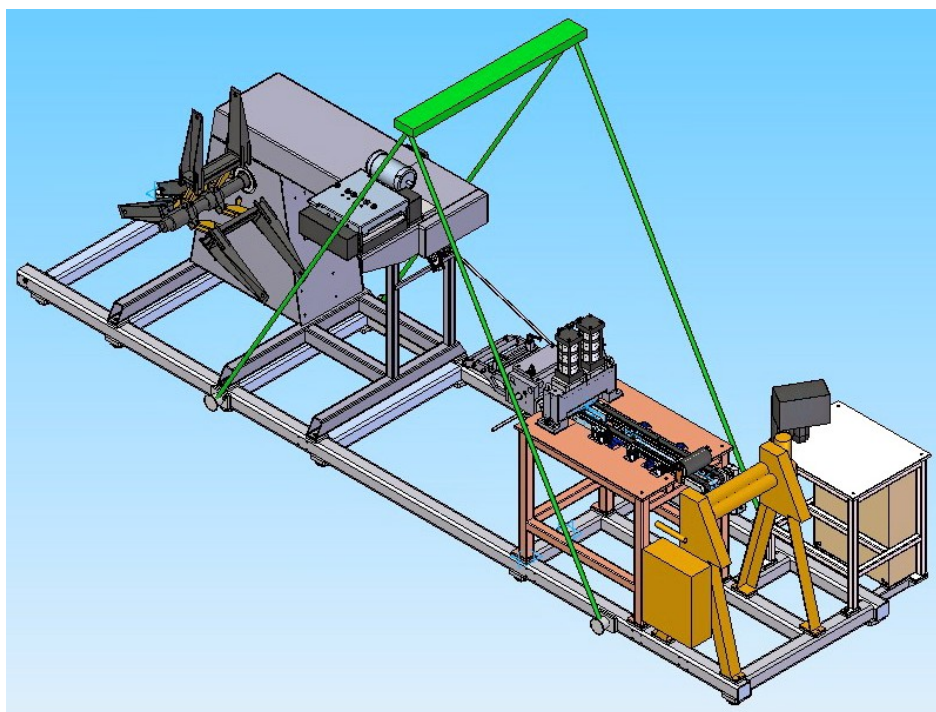
### **3.3 Návrh transportu statorových a rotorových celků pro další operaci**

Při navrhované technologii výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy na výrobní lince jsou jednotlivé pásy plechu stříhány a zakružovány. Následně jsou obsluhou skládány do statorových a rotorových celků, které jsou dále přesouvány k dalšímu technologickému úkonu – spékání jednotlivých plechů. Pro transport jednotlivých statorových a rotorových celků autor diplomové práce navrhuje použít normalizovanou ohradovou paletu Mars (viz obr 3.3), která je ve společnosti TES VSETÍN, a. s., hojně využívána.



Obr. 3.3 Ohradová paleta Mars

Jelikož celá výrobní linka je konstruována tak, že ji je možno libovolně pomocí jeřábu přemísťovat (viz obr. 3.4), aniž by bylo linku potřeba demontovat a kompletně následně sestavovat a seřizovat, navrhuje autor diplomové práce pro vysoce efektivní transport jednotlivých statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy umístění výrobní linky v blízkosti pece na spékání jednotlivých celků.



Obr. 3.4 Ukotvení výrobní linky pro možnost jejího přemísťování

## 4 Návrh racionálního nástřihového plánu

Nástřihovým plánem je nazýváno vhodné rozmístění výstřižků na výchozím polotovaru, tj. pásy, pruhy nebo tabule plechu. Protože z celkových výrobních nákladů při vystřihování připadá na materiál výstřižku  $60 \div 70 \%$ , je potřebné navrhnout nástřihový plán s ohledem na maximální využití materiálu.

Hospodárnost nástřihového plánu se vyjadřuje koeficientem využití materiálu  $\eta_H$ :

$$\eta_H = \frac{S_V}{S_P} \cdot 100 \quad (4.1)$$

kde jsou:

$\eta_H$ -	koeficient využití materiálu	(%),
$S_V$ -	obsah plochy rozmístěných výstřižků	(mm <sup>2</sup> ),
$S_P$ -	obsah plochy polotovaru	(mm <sup>2</sup> ).

### 4.1 Nástřihový plán stávající technologie

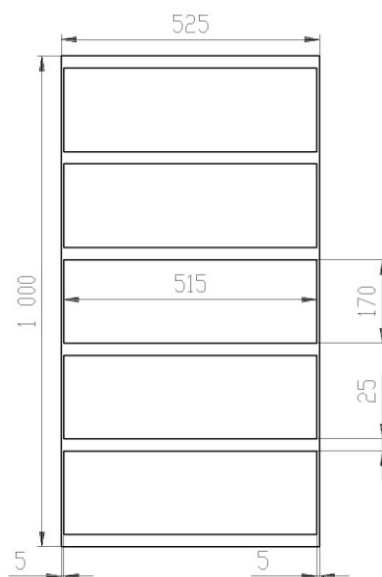
V současné technologii výroby satorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy jsou jednotlivé pásy plechů, z kterých jsou zakruženy plechy pro výrobu satorových a rotorových celků indukčního snímače polohy, vystřihovány z tabulí plechů o rozměrech dle technologického postupu (viz tab. 1.11 a tab. 1.12). Tyto tabule plechu jsou děleny ze svitku plechu (viz obr. 1.8) M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3). Svitok je dodáván do společnosti TES VSETÍN, a. s., o šířce  $A_1 = 1000$  mm a hmotnosti  $m = 5000$  kg.

Dle technologického postupu na výrobu jednoho rotorového celku je potřeba 1 ks pásu plechu o rozměru 170 x 515 mm, který je vystřihován z tabule plechu o rozměru 525 x 1000 mm. Těchto pásů plechu se na tabuli plechu vejde 5 ks. Proto autor diplomové práce volí pro efektivní výpočet hospodárnosti nástřihového plánu počet 5 ks rotorových celků indukčního snímače polohy. K výrobě 5 ks rotorových celků je dále potřeba 65 ks pásů plechu o rozměru 170 x 478 mm, které jsou vystřiženy z 13 ks tabulí plechu o rozměru 488 x 1000 mm, a dále 60 ks pásů plechu o rozměru 170 x 438 vystřižených z 12 ks tabulí plechu o rozměru 448 x 1000 mm.

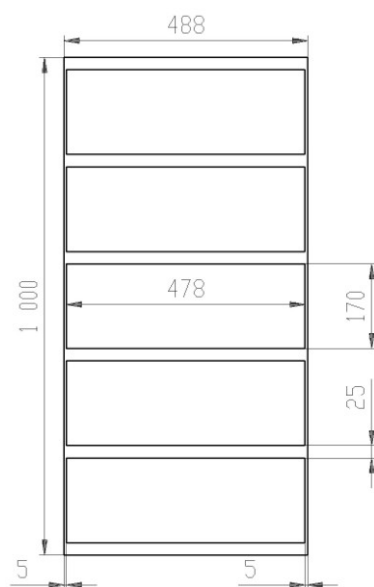


Protože se indukční snímač polohy skládá z rotorové a statorové části, tak pro výrobu 5 ks indukčních snímačů polohy je zapotřebí vyrobít 5 ks statorových celků. K výrobě je potřeba 5 ks pásů plechu o rozměru 170 x 735 mm, které jsou vystřiženy z 1 ks tabule plechu o rozměru 745 x 1000 mm, 30 ks pásů plechu vystřižených z 6 ks tabulí plechu o rozměru 712 x 1000 mm, 50 ks pásů plechu vystřižených z 10 ks tabulí plechu o rozměru 700 x 1000 mm a 60 ks pásů plechu vystřižených z 12 ks tabulí plechu o rozměru 666 x 1000 mm.

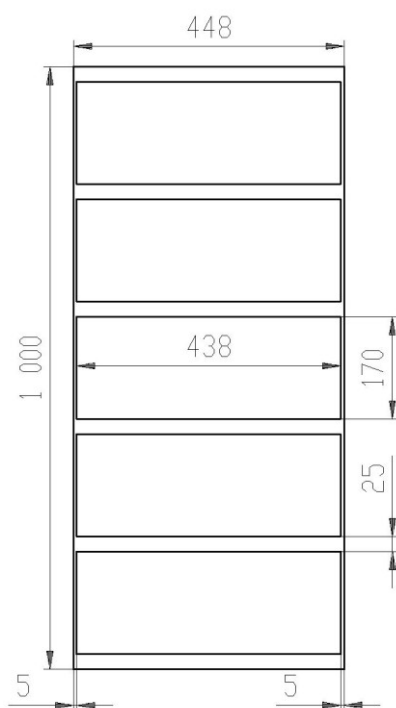
Rozmístění jednotlivých rotorových pásů plechu na tabulích plechu je patrné z obr. 4.1, obr. 4.2, obr. 4.3. Rozmístění jednotlivých statorových pásů plechu na tabulích plechu je zobrazeno na obr. 4.4, obr. 4.5, obr. 4.6 a obr. 4.7.



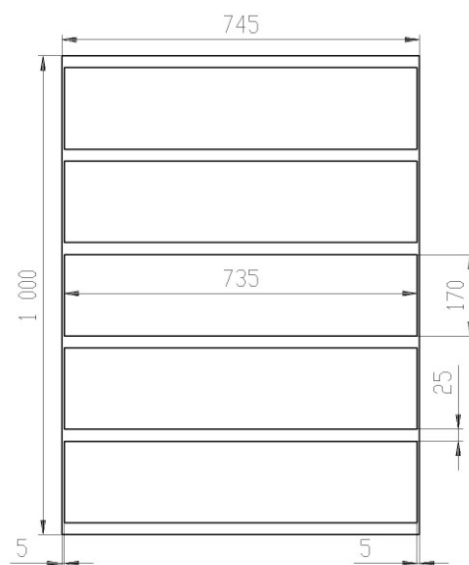
Obr. 4.1 Nástrihový plán rotorových pásů plechu o rozměru 515 x 170 mm



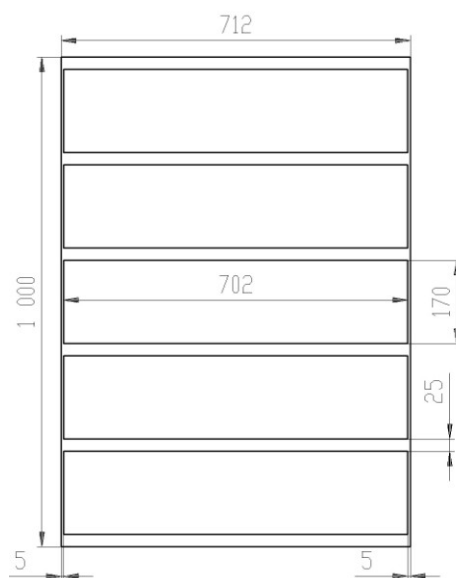
Obr. 4.2 Nástřihový plán rotorových pásů plechu o rozměru 478 x 170 mm



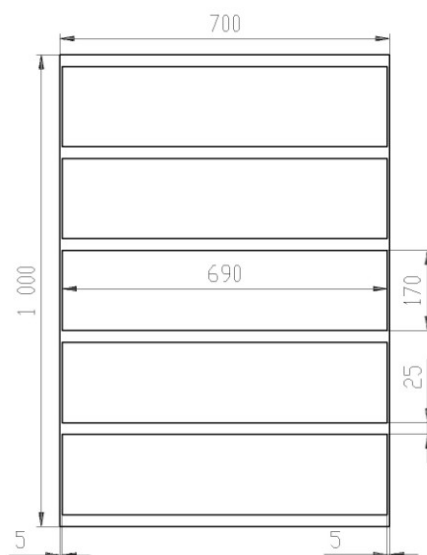
Obr. 4.3 Nástřihový plán rotorových pásů plechu o rozměru 438 x 170 mm



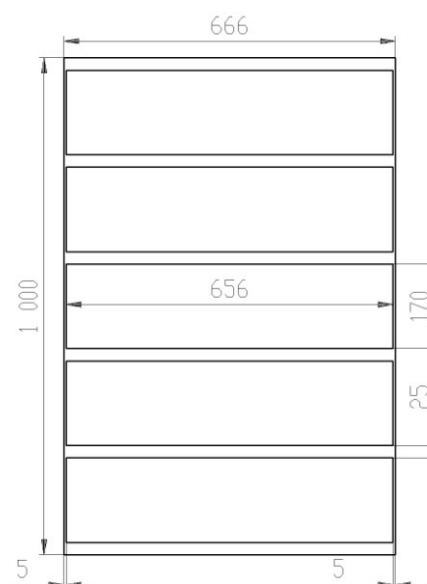
Obr. 4.4 Nástrihový plán statorových pásů plechu o rozměru 735 x 170 mm



Obr. 4.5 Nástrihový plán statorových pásů plechu o rozměru 702 x 170 mm



Obr. 4.6 Nástřihový plán statorových pásů plechu o rozměru 690 x 170 mm



Obr. 4.7 Nástřihový plán statorových pásů plechu o rozměru 656 x 170 mm

Protože rozmístění jednotlivých pásů plechu na tabulích plechů je stejné, jak je vidět z obr. 4.1 ÷ obr. 4.7, je možno vypočíst koeficient využití materiálu  $\eta_H$  pouze z jedné tabule plechu. Tento koeficient využití materiálu  $\eta_H$  pak bude stejný pro celou dávku výroby 5 ks rotorových a statorových celků indukčního snímače polohy.

Hospodárnost současného nástřihového plánu pro tabuli plechu o rozměrech  $a_T = 1000$  mm,  $b_T = 525$  mm, na kterém je rozmístěno 5 ks pásu plechu o rozměru  $a_P = 515$  mm,  $b_P = 170$  mm, byla vypočtena dosazením do rovnice (4.1):

$$\eta_H = \frac{S_V}{S_P} \cdot 100 = \frac{n(a_P \cdot b_P)}{a_T \cdot b_T} \cdot 100 = \frac{5 \cdot (515 \cdot 170)}{1000 \cdot 525} \cdot 100 = 83,4 \%$$

kde jsou:

$a_T$ -	délka tabule plechu	(dosazení 1000 mm)
$b_T$ -	šířka tabule plechu	(dosazení 525 mm)
$a_P$ -	délka pásu plechu	(dosazení 515 mm)
$b_P$ -	šířka pásu plechu	(dosazení 170 mm)
$n$ -	počet pásu plechu na tabuli plechu	(dosazení 5 ks)

## 4.2 Návrh racionálního nástřihového plánu nově navrhované technologie

Při nově navrhované technologii výroby statorových a rotorových pásů plechů indukčního snímače polohy (viz 2) jsou jednotlivé pásy plechu stříhány na výrobní lince přímo ze svitku o šířce 170 mm tak, jak navrhuje autor diplomové práce. Jak je uvedeno v současném technologickém postupu výroby (viz tab. 1.11 a tab. 1.12), ale i nově navrhovaném technologickém postupu výroby (viz tab. 2.7 a tab. 2.8), je pro výrobu statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy předepsaná šířka jednotlivých pásů plechu 170 mm.

Tím, že jednotlivé délky pásů plechu jsou děleny přímo ze svitku plechu, nedochází ke vzniku odpadního materiálu. Jednotlivé délky pásů plechu jsou dle výrobního postupu (viz tab. 2.7 a tab. 2.8) regulovány CNC řízeným servopodavačem.

Pro výpočet koeficientu využitelnosti materiálu  $\eta_H$  jsou do vzorce (4.1) dosazovány plochy výstřižku  $S_V$  a plochy polotovaru  $S_P$ . Jelikož, jak bylo zmíněno výše, nevzniká odpadní materiál, jsou tyto plochy rovny a koeficient využitelnosti  $\eta_H = 100 \%$ .

### 4.3 Vyhodnocení navrhovaného nástřihového plánu

V kapitolách 4.1 a 4.2 byly rozebrány jednotlivé varianty nástřihových plánů statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy. V jednotlivých variantách byly vypočteny koeficienty využitelnosti materiálu. Z vyhodnocení těchto koeficientů využitelnosti materiálu ve stávající technologii a v nově navrhované technologii výroby rotorových a statorových plechů indukčního snímače polohy je možno určit úsporu materiálu (viz tab. 4.1).

Tab. 4.1 Úspora materiálu při nově navrhovaném nástřihovém plánu

Koeficient využití materiálu $\eta_H$ (%)		úspora materiálu pro svitek plechu o hmotnosti 5 000 kg	
stávající nástřihový plán	nově navržený nástřihový plán	(%)	(kg)
83,4	100	16,6	830

## **5 Konstrukční řešení zakružovačky**

Konstrukční řešení zakružovačky představuje podstatnou roli při zakružování plechů pro výrobu statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy. Dle výkresové dokumentace (viz výkresová příloha č. 001 a č. 002) je vyžadováno, aby jednotlivé statorové a rotorové plechy byly zakruženy tak, že na pleších nevzniknou nezakružené (rovné) okraje plechů. Z důvodu aplikace zakružovačky v konstrukčním řešení výrobní linky je nutné, aby efektu zakružení okrajů bylo docíleno na jeden průchod pásu plechu.

Vhodnou konstrukcí zakružovačky se autor diplomové práce již zabýval v kapitole 2.2 této práce, kde byly rozebrány jednotlivé konstrukce zakružovaček a byly také rozebrány principy, kterými jsou plechy zakružovány.

Jako nevhodnější konstrukční řešení zakružovačky pro dosažení zakružených okrajů plechů, tzn. aby tyto plechy byly zakruženy na jeden průchod zakružovačkou, bylo navrženo použití čtyřválcové zakružovačky. Využitím této technologie zakružení je dosaženo nutného požadavku kompletního zakružení plechu na jeden průchod. Tento požadavek na zakružení je nepostradatelný pro efektivní využití zakružovačky v automatické lince na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy.

## 6 Rámcové ekonomické zhodnocení

Stávající technologie (viz 1.4) výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače je prováděna ve čtyřech krocích na čtyřech různých pracovištích v rámci společnosti TES VSETÍN, a. s. Nově navrhované řešení výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je uskutečňováno na výrobní lince (viz 2.3) nově navrhované autorem diplomové práce, kde jsou veškeré úkony nutné pro výrobu samostatných statorových a rotorových plechů indukčního spínače polohy automatizovány.

Pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je u obou technologií použit stejný materiál M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3).

Pro vyhodnocení ekonomického hlediska uplatnění navrhované technologie bylo počítáno s produkcí jednotlivých statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy pro rok 2010 (viz tab. 2.1)

Pro stanovení ekonomického faktoru je u obou technologií totožná optimální výrobní dávka  $O = 72$  ks. Tato výrobní dávka je rovna týdenní produkci indukčních snímačů polohy pro rok 2010.

Potřebný počet dávkových (přípravných) časů vypočteme podle rovnice:

$$pT_{BC} = \frac{p}{O} = \frac{3600}{72} = 50 \quad (6.1)$$

kde jsou:

$pT_{BC}$  počet dávkových (přípravných) časů (-),

$p$  celkový počet indukčních snímačů polohy (ks),

$O$  optimální dávka (ks).



Pro výpočet výrobní ceny za práci u výrobních technologií platí rovnice:

$$M_P = \left( \frac{p T_{BC} \cdot \Sigma T_{BC}}{p \cdot 60} + \frac{\Sigma T_{AC}}{60} \right) \cdot m_Z \quad (6.2)$$

kde jsou:

$M_P$	cena za práci při výrobě výstřížku	(Kč),
$T_{BC}$	dávkový (přípravný) čas	(min),
$T_{AC}$	jednotkový (operační) čas	(min),
$m_Z$	mzdové zařazení	(Kč).

Mzdové zařazení  $m_Z$  náleží ve společnosti TES VSETÍN, a. s., do 4. platové třídy a je u všech výrobních operacích stejné. Mzdové zařazení zahrnuje náklady na provoz strojů, veškeré náklady na mzdy pracovníků, údržbu a s ní pojené náklady na přeostrhování nástrojů. Proto je pro každou výrobní operaci počítáno se stejnou mzdou 679,-- Kč/h.

## 6.1 Ekonomické vyhodnocení stávající technologie

Výrobní cena statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy se skládá z ceny za práci při jejich výrobě a ceny použitého materiálu pro jejich výrobu.

### a) Cena za práci při výrobě statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy

Cena za práci při výrobě rotorových plechů indukčního snímače polohy dle technologického postupu (viz tab. 1.11) v operacích 01 ÷ 04 byla vypočtena dosazením do rovnice (6.2)

$$M_P = \left( \frac{50 \cdot 68}{3600 \cdot 60} + \frac{27,849}{60} \right) \cdot 679 = 325,845 \text{ Kč}$$

Cena za práci při výrobě satorových plechů indukčního snímače polohy dle technologického postupu (viz tab. 1.12) v operacích 01 ÷ 04 byla vypočtena dosazením do rovnice (6.2)

$$M_P = \left( \frac{50 \cdot 86}{3600 \cdot 60} + \frac{44,093}{60} \right) \cdot 679 = 512,502 \text{ Kč}$$

$$\Sigma M_P = 838,347 \text{ Kč}$$

Celková cena za práci při výrobě satorových a rotorových celků pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy je **838,347 Kč**.

**b) Cena za materiál potřebný pro výrobu satorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy**

Jednotlivé satorové a rotorové plechy indukčního snímače polohy jsou vyrobeny z materiálu M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3). Tento navrhovaný materiál má hustotu  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ . Cena jednoho kilogramu tohoto materiálu dodávaného do společnosti TES VSETÍN, a. s, v podobě svitku o šířce  $A_1 = 1000 \text{ mm}$  je dodavatelem stanovena na 25,63 Kč/kg.

Pro efektivní výpočet nástřihových plánů v současné technologii výroby bylo počítáno s 5 ks indukčních snímačů polohy (viz 4.1). Proto i při výpočtu hmotnosti materiálu potřebného pro výrobu indukčního snímače polohy autor diplomové práce vychází z hmotnosti 5 ks indukčních snímačů polohy. Pro určení hmotnosti materiálu pro 1 ks je vypočtená hmotnost vydělena 5 ks.

Pro výpočet hmotnosti je použit vzorec:

$$m = \rho \cdot V \quad (6.3)$$

kde jsou:

$m$  hmotnost (kg),

$\rho$  hustota materiálu (kg/m<sup>3</sup>),

$V$  objem použitého materiálu (m<sup>3</sup>).

Výpočet objemu použitého materiálu  $V$  pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy je shrnut do tabulky 6.1.

Tab. 6.1 Výpočet objemu použitého materiálu pro výrobu plechů indukčního snímače polohy

Část indukčního snímače polohy	počet tabulí plechu pro výrobu 5 ks indukčního snímače polohy $p$ (ks)	délka tabule plechu $a_T$ (mm)	šířka tabule plechu $b_T$ (mm)	tloušťka plechu $t$ (mm)	objem materiálu $V = (p \cdot a_T \cdot b_T \cdot t) / 10^9$ (m <sup>3</sup> )
rotor	13	488	1000	0,5	0,0031720
	12	448	1000	0,5	0,0026880
	1	525	1000	0,5	0,0002625
stator	12	666	1000	0,5	0,0039960
	10	700	1000	0,5	0,0035000
	6	712	1000	0,5	0,0021360
	1	745	1000	0,5	0,0003725
				$\Sigma V$	<b>0,0161270</b>

V tabulce 6.1 byl vypočten objem použitého materiálu potřebného pro výrobu 5 ks indukčního snímače polohy. Abychom vypočetli hmotnost materiálu potřebného pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy, vydělíme vypočtený objem  $\Sigma V$  z tab. 6.1 pěti a dosadíme do rovnice (6.3). Pak je tedy objem  $V = 0,0032254$ .

Výpočet hmotnosti materiálu potřebného pro 1 ks indukčního snímače polohy:

$$m = 7850 \cdot 0,0032254 \doteq 25,32 \text{ kg}$$

Hmotnost materiálu potřebného pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy je 25,32 kg. Pokud je materiál dodáván za cenu 25,63 Kč/kg, je náklad na cenu použitého materiálu pro 1 ks indukčního snímače polohy **648,95 Kč**.

Celková cena výroby statorových a rotorových plechů pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy je uvedena v tab. 6.2.

Tab. 6.2 Celková cena statorových a rotorových plechů pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy při použití stávající technologie

Cena za práci při výrobě	838,347 Kč
Cena materiálu	648,950 Kč
<b>Celková cena</b>	<b>1 487,297 Kč</b>

## 6.2 Ekonomické vyhodnocení nově navrhované technologie výroby

Pro možnost srovnání ekonomického hlediska výroby mezi jednotlivými technologiemi je zapotřebí určit celkovou cenu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy. Ceny jednotlivých celků indukčního snímače polohy se skládají z ceny za práci při výrobě statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy a z ceny použitého materiálu pro jejich výrobu.

**a) Cena za práci při výrobě statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy**

Cena za práci při výrobě rotorových plechů indukčního snímače polohy dle technologického postupu (viz tab. 2.7) v operacích 01 ÷ 04 byla vypočtena dosazením do rovnice (6.2)

$$M_P = \left( \frac{50 \cdot 28}{3600 \cdot 60} + \frac{9,435}{60} \right) \cdot 679 = 111,174 \text{ Kč}$$

Cena za práci při výrobě statorových plechů indukčního snímače polohy dle technologického postupu (viz tab. 2.8) v operacích 01 ÷ 04 byla vypočtena dosazením do rovnice (6.2)

$$M_P = \left( \frac{50 \cdot 28}{3600 \cdot 60} + \frac{15,214}{60} \right) \cdot 679 = 176,572 \text{ Kč}$$

$$\Sigma M_P = 287,746 \text{ Kč}$$

Celková cena za práci při výrobě statorových a rotorových celků pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy je **287,746 Kč**.

**b) Cena za materiál potřebný pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy**

Jednotlivé statorové a rotorové plechy indukčního snímače polohy jsou vyrobeny z materiálu M400-50A EN 10106 (viz 1.3.3). Tento navrhovaný materiál má hustotu  $\rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$ . Cena jednoho kilogramu tohoto materiálu dodávaného do společnosti TES VSETÍN, a. s, v podobě svitku o šířce  $A_1 = 170 \text{ mm}$  je dodavatelem stanovena na 25,75 Kč/kg.

Výpočet objemu použitého materiálu  $V$  pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy při použití nově navrhované technologie je shrnut do tabulky 6.3.

Tab. 6.3 Výpočet objemu použitého materiálu pro výrobu plechů indukčního snímače polohy

Část indukčního snímače polohy	počet tabulí plechu pro výrobu 5 ks indukčního snímače polohy $p$ (ks)	délka pásu plechu $a_P$ (mm)	šířka pásu plechu $b_P$ (mm)	tloušťka plechu $t$ (mm)	objem materiálu $V = (p \cdot a_P \cdot b_P \cdot t) / 10^9$ (m <sup>3</sup> )
<b>rotor</b>	13	478	170	0,5	0,000528190
	12	438	170	0,5	0,000446760
	1	515	170	0,5	0,000043775
<b>stator</b>	12	656	170	0,5	0,000669120
	10	690	170	0,5	0,000586500
	6	702	170	0,5	0,000358020
	1	735	170	0,5	0,000062475
				<b><math>\Sigma V</math></b>	<b>0,0026948400</b>

V tabulce 6.3 byl vypočten objem  $\Sigma V$  použitého materiálu potřebného pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy. Pro výpočet hmotnosti potřebného materiálu pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy je dosazen vypočtený objem  $\Sigma V$  do rovnice (6.3)

Výpočet hmotnosti materiálu potřebného pro 1 ks indukčního snímače polohy:

$$m = 7850 \cdot 0,00269484 \doteq 21,15 \text{ kg}$$

Hmotnost materiálu potřebného pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy je 21,15 kg. Pokud je materiál dodáván za cenu 25,75 Kč/kg, je náklad na cenu použitého materiálu pro 1 ks indukčního snímače polohy **544,61 Kč**.

Celková cena výroby statorových a rotorových plechů pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy je uvedena v tab. 6.4.

Tab. 6.4 Celková cena statorových a rotorových plechů pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy při použití nově navrhované technologie výroby

Cena za práci při výrobě	287,746 Kč
Cena materiálu	544,610 Kč
<b>Celková cena</b>	<b>832,356 Kč</b>

### 6.3 Rámcové ekonomické porovnání stávající a nově navrhované technologie výroby

V kapitolách 6.1 a 6.2 byly vypočteny náklady na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy. Při porovnání těchto výrobních nákladů (viz tab. 6.2 a tab. 6.4) lze ekonomicky vyhodnotit stávající technologii výroby uskutečňovanou na čtyřech různých pracovištích ve čtyřech krocích (viz 1.4) a nově navrhovanou technologii výroby prováděnou na automatizované lince (viz 2.3).

Počet vyráběných indukčních snímačů polohy v roce 2010, které se skládají ze statorových a rotorových plechů, je patrný z tab. 2.1. Z této roční produkce strojů lze vyhodnotit výhodnost použití technologie.

Ekonomické srovnání technologií výroby indukčních snímačů polohy je pro přehlednost provedeno v tab. 6.5.

Tab. 6.5 Ekonomické srovnání technologií

Cena statorových a rotorových plechů pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy u stávající technologie (Kč)	cena statorových a rotorových plechů pro výrobu 1 ks indukčního snímače polohy u nově navrhované technologie (Kč)	úspora na indukční snímač polohy (Kč)	počet vyrobených kusů v roce 2010 <i>p</i> (ks)	úspora pro indukční snímače polohy vyrobené v roce 2010 (Kč)
1 487,297	832,356	654,941	3 600	2 357 787,60

Z ekonomického srovnání obou technologií vyplývá, že pokud na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy bude použita autorem diplomové práce nově navrhovaná technologie výroby na automatické lince, bude ušetřeno **2 357 787,60 Kč** při 3 600 vyrobených kusech indukčních snímačů polohy v roce 2010.

Pořizovací cena automatické výrobní linky pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčních snímačů polohy je **2 876 000,-- Kč**. Při využití nově navrhované technologie výroby činí úspora na výrobě statorových a rotorových plechů indukčních snímačů polohy **2 357 787,60 Kč**. Za předpokladu stejné produkce indukčních snímačů polohy jako v roce 2010 je návratnost automatické výrobní linky cca 1,2 roku.



## 7 Závěr

Z dosažených výsledků diplomové práce „*Návrh technologie výroby plechu rotoru a statoru indukčního snímače polohy vystřihováním a zakružováním*“ vyplývají tyto závěry:

- a) Za účelem zajištění co nejvyšší účinnosti  $\eta$  (%) indukčního snímače polohy autor diplomové práce provedl rozbor vlastností jednotlivých plechů a pásů určených pro elektrotechniku, tj. izotropních legovaných ocelí válcovaných zastudena v rozpracovaném stavu, orientovaných transformátorových ocelí válcovaných zastudena, izotropních dynamových ocelí válcovaných zastudena v plně zpracovaném stavu a křemíkových ocelí válcovaných zastudena (viz 1.3.2). Z tohoto rozboru vyplynulo, že nejvhodnějším materiálem je M400-50A dle EN 10106 (viz tab. 1.5). Jedná se o plech z izotropní dynamové oceli pro elektrotechniku válcovaný zastudena v plně zpracovaném stavu, značení dle EN 10106 (viz 1.3.3). Plechy jsou dodávány s organickou izolací Sulfizol, nebo anorganickým lakem Remisol.
- b) S cílem zjistit nejvhodnější technologii stříhání plechů indukčního snímače plochy byl autorem diplomové práce proveden rozbor možných způsobů stříhání (viz 2.1), tj. stříhání rovnoběžnými noži, stříhání skloněnými noži, stříhání kruhovými noži a stříhání pomocí pryže. Na základě uvedeného rozboru byla jako nejvhodnější zvolena technologie stříhání skloněnými noži (viz 2.1.1). Tato technologie je výhodná pro dosahovanou přesnost stříhání plechu, kdy není překračována hodnota dovoleného otřepu (otřep nesmí překročit hodnotu 10 % tloušťky stříhaného plechu). Hodnota velikosti otřepu na hraně střížné plochy je v elektrotechnice rozhodujícím parametrem. Další výhodou zvolené technologie je vynaložení menší střížné síly než u technologie stříhání rovnými noži a eliminace rázů vnikajících při stříhání rovnými noži. Nevýhodu zvolené technologie výroby, kterou je deformace odpadního materiálu, autor diplomové práce navrhl eliminovat použitím přidržovače při stříhu materiálu.
- c) Na základě rozboru druhů konstrukcí zakružovaček (viz 2.2), bylo autorem diplomové práce navrženo nejvhodnější konstrukční řešení, a to použití čtyřválcové zakružovačky. Při využití této technologie pro zakružení plechů

rotoru a statoru, které tvoří hlavní část indukčního snímače polohy, nedochází k nepříznivému nezakružení konců plechů. Snahou je vyrobit zakružený plech na jeden průchod. Eliminace nezakružení konců plechu by byla možná s využitím i tříválcové nesymetrické zakružovačky, ale zde by bylo nutno jednotlivé plechy zakružit na dva průchody zakružovačkou, což je časově neefektivní. Při použití čtyřválcové zakružovačky je možno jednotlivé technologické operace, nutné pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy, umístit v chronologickém sledu dle technologického postupu výroby a celý proces automatizovat. Tím se docílí úspora času nutného pro výrobu statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy.

- d) Za účelem zefektivnění výroby statorových a rotorových plechů indukčního snímače autor diplomové práce navrhl sestavení výrobní linky na vystříhování a zakružování statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy (viz 2.3) z jednotlivých technologických zařízení: odvíjecího zařízení, rovnacího zařízení, válečkového servopodavače, pneumatických nůžek se skloněnými noži, pásového dopravníku a čtyřválcové zakružovačky. Rozmístění jednotlivých technologických částí výrobní linky je zřejmé z obr. 2.9.
- e) Konstrukce výrobní linky byla autorem diplomové práce navržena tak, aby její obsluha byla zabezpečena jedním výrobním dělníkem, který ovládá a volí chod CNC programu, dále odebírá jednotlivé zakružené statorové a rotorové plechy indukčního snímače polohy ze zakružovačky a dle předepsaného technologického postupu (viz tab. 2.7 a tab. 2.8) je skládá do statorových a rotorových celků. Tyto celky jsou dále dopravovány k dalším technologickým operacím. S využitím nově navrhované výrobní linky (viz 2.3) bude zefektivněna výroba statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy a dále budou uvolněny kapacity na jednotlivých pracovištích využívaných při výrobě statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy ve stávající technologii (viz 1.4).
- f) Z konstrukčního řešení střížného nástroje (viz 3.1) vyplývá, že pro zvýšení životnosti střížných částí nástroje jsou významné: délka stříhu materiálu, druh stříhaného materiálu, materiál střížných nožů, druh uložení nožů, možný počet přeastření nožů a mazání střížných nástrojů pro snížení tření mezi noži (viz 3.1). Z provedeného rozboru se jako nejdůležitější jeví druh použitého

nástrojového materiálu. Autor diplomové práce navrhl změnu materiálu střížných nožů ze stávajícího materiálu ČSN 19 436 (viz 3.1.1.1) na materiál práškové metalurgie Vanadis 10 (viz 3.1.1.3). Změnou materiálu střížných nástrojů je docíleno zvýšení jejich životnosti, ale vzhledem k počtu stříhů za rok (viz tab. 3.5) a ceně střížných materiálů (viz tab. 3.6) je pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy volba materiálu Vanadis 10 finančně neefektivní (viz 3.1.2). Současný materiál střížných nástrojů, ČSN 19 436 (viz 3.1.1.1), dosahuje při použití všech svých čtyř střížných hran teoretické životnosti 16 800 000 zdvihů a je finančně akceptovatelný.

- g) Pro zefektivnění transportu jednotlivých statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy bylo autorem diplomové práce navrženo použití normalizované ohradové palety Mars (viz obr 3.3).
- h) Pro vysoce efektivní transport jednotlivých statorových a rotorových celků indukčního snímače polohy autor diplomové práce doporučil umístit výrobní linku v blízkosti pece na spékání jednotlivých celků, což lze snadno zajistit, neboť konstrukce výrobní linky je navržena tak, že ji lze libovolně pomocí jeřábu přemísťovat (viz obr. 3.4), aniž by bylo nutno linku demontovat a následně kompletně sestavovat a seřizovat.
- i) Pro racionalizaci nástřihových plánů bylo autorem diplomové práce navrženo stříhání na výrobní lince pro výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy přímo ze svitků plechu o šířce 170 mm (viz 4.2), čímž je při srovnání koeficientů využitelnosti nástřihových plánů stávající technologie a nově navrhované technologie dosaženo úspory 16,6 % (viz tab. 4.1).
- j) Autorem diplomové práce bylo provedeno srovnání nákladů stávající technologie výroby uskutečňované na čtyřech různých pracovištích ve čtyřech krocích (viz 1.4) a nově navrhované technologie výroby prováděné na automatizované lince (viz 2.3). Z tohoto ekonomického rozboru technologií výroby indukčních snímačů polohy vyplývá, že pokud na výrobu statorových a rotorových plechů indukčního snímače polohy bude použita autorem diplomové práce nově navrhovaná technologie výroby na automatické lince (viz 2.3), bude ušetřeno **2 357 787,60 Kč** při 3 600 vyrobených kusech indukčních snímačů polohy za rok

(viz tab. 6.5). Za předpokladu stejné produkce indukčních snímačů polohy jako v roce 2010 je návratnost nákladů na pořízení automatické výrobní linky cca 1,2 roku.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] TES VSETÍN, a. s. [online]. 2009 [cit. 2010-11-09]. O společnosti. Dostupné z WWW : <<http://www.tes.cz/tes-vsetin/soucasnost/>>.
- [2] ZLÁMALÍK, J. *Návrh produktivní technologie vystřihování plechů rotoru a statorů pro generátory : Bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2009. 74 s. Bez ISBN
- [3] LISTIBŮREK, F. *Příklady z automatizační techniky* : 1. vyd. Praha SNTL, 1977. 350 s. Bez ISBN.
- [4] Haasz, V. a Sedláček, M. *Elektrická měření* : 1. vyd. Praha : ČVUT, 2000. 150 s. ISBN 80-01-01717.
- [5] PANTÍK, T. *Regulace polohy s resolverem : Diplomová práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. 46s. Bez ISBN.
- [6] DAVID, P. *Vyhodnocení polohy pomocí resolveru : Diplomová práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2005. 44 s. Bez ISBN.
- [7] HEŘMAN, J, et al. *Příručka silnoprůdé elektrotechniky* : 2. vyd. Praha : SNTL, 1986. 1032 s. Bez ISBN.

- [8] HRAŠKO, P., PUZJAK, I. *Elektrotechnika* : 2. vyd. Bratislava : SNTL, 1983. 320 s. Bez ISBN.
- [9] ČADA, R. *Technologie I – část tváření a slévání (návod do cvičení) : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3.
- [10] PETRUŽELKA, J. a BŘEZINA, R. *Úvod do tváření II : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2001. 114 s. ISBN 80-248-0068-3.
- [11] LENFELD, P. *Technologie II* [online]. Liberec : 2005 [cit. 2010-12-05]. Dostupné z WWW : <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)>.
- [12] ČABELKA, J. *Mechanická technológia* : 1. vyd. Bratislava : VSAV, 1967. 1036 s. Bez ISBN.
- [13] ČADA, R. *Plošná tvářitelnost kovových materiálů* : 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
- [14] ČADA, R. *Tvářitelnost kovových materiálů: Plošná tvářitelnost : návod do cvičení : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1997. 78 s.
- [15] HRUBÝ, J., RUSZ, S. a ČADA, R. *Strojírenské tváření : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1993. 160 s. ISBN 80-7078-201-3.

- [16] BŘEZINA, R. a ČADA, R. *Speciální technologie – technologie tváření : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X.
- [17] FOREJT, M. *Teorie tváření a nástroje : skriptum*. 1. vyd. Brno : VUT v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [18] BAREŠ, K, et al. *Lisování* : 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s. Bez ISBN.
- [19] NOVOTNÝ, J. a LANGER, Z. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 216 s. Bez ISBN.
- [20] BOBČÍK, L. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1983. 213 s. Bez ISBN.

## **9 Seznam příloh**

### **Výkresové přílohy v kapse práce:**

Výkres sestavy statoru	č. 001
Výkres sestavy rotoru	č. 002



## Seznam použitých značek a symbolů

$A_1$	šířka pásu svitku	(mm)
$A_2$	šířka pásu svitku	(mm)
$a_p$	šířka pásu plechu	(mm)
$a_T$	délka tabule plechu	(mm)
$a_T$	šířka tabule plechu	(mm)
$b_p$	délka pásu plechu	(mm)
$f$	frekvence	(Hz)
$H$	intenzita magnetického pole	(A/m)
$h$	pracovní výška střížné části	(mm)
$J$	magnetická polarizace	(T)
$K$	koeficient reality procesu	(-)
$M$	elektrotechnická ocel	(-)
$m$	hmotnost	(kg)
$M_p$	cena za práci při výrobě statorového plechu	(Kč)
$m_s$	střížná mezera	(mm)
$m_Z$	mzdové zařazení	(Kč)
$n$	počet ohybů	(-)
$O$	optimální dávka	(ks)
$p$	počet kusů výstřižků v roce 2010	(ks)
$pT_{BC}$	počet dávkových (přípravných) časů	(-)
$S$	obsah	(m <sup>2</sup> )
$S_p$	obsah plochy polotovaru	(mm <sup>2</sup> )
$S_v$	obsah plochy rozmístěných výstřižků	(mm <sup>2</sup> )
$T$	anizotropie ztrát	(%)
$t$	tloušťka plechu	(mm)
$T_{AC}$	jednotkový (operační) čas	(min)
$T_{BC}$	dávkový (přípravný) čas	(min)
$T_C$	životnost nástroje	(-)
$V$	objem	(m <sup>3</sup> )
$v$	střížná vůle	(mm)

$z$	počet zdvihů na jedno ostření	(-)
$\alpha$	úhel hřbetu střížného nástroje	(°)
$\gamma$	úhel čela střížného nástroje	(°)
$\eta$	účinnost	(%)
$\eta_H$	koeficient využití materiálu	(%)
$\rho$	hustota	(kg·m <sup>-3</sup> )
$\varphi$	úhel sklonu nože střížného nástroje	(°)